

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-204591

(43)Date of publication of application : 22.07.1994

(51)Int.Cl.

H01S 3/08

(21)Application number : 05-257369

(71)Applicant : FUJI ELECTRIC CO LTD

(22)Date of filing : 15.10.1993

(72)Inventor : TANUMA RYOHEI

(30)Priority

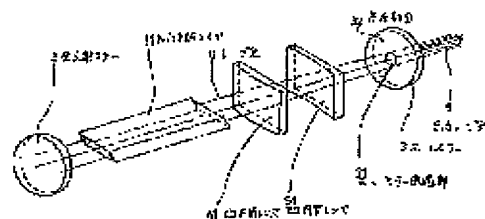
Priority number : 04277584 Priority date : 16.10.1992 Priority country : JP

## (54) SOLID LASER DEVICE

(57)Abstract:

PURPOSE: To prevent the deterioration of efficiency due to the formation of a non-oscillation region by a solid laser at the time of a large hole diameter, and to enable laser oscillation having small  $\theta d$  under wide operating conditions by forming the transmitting section of holed mirror as an output mirror for reducing  $\theta d$  in a high transmittance section having small reflectivity.

CONSTITUTION: A total reflection mirror 2 is arranged on one side of an Nd:YAG slab 11 and hold mirror 3 on the other side as an output mirror, and a beam expander expanding laser beams 6 toward the direction of the slab while interposing a convex cylindrical lens 41 and a concave cylindrical lens 51 is formed between the slab 11 and the output mirror 3. In the holed mirror 3, a high reflecting surface is formed on the peripheral section 32 of the surface of a glass substrate through coating, and a residual central section is formed in a transmitting section 31. Accordingly, when the hole section 31 slightly has reflectivity, laser beams 6 slightly remain even after they hit into the hole 31, thus preventing the deterioration of efficiency due to the formation of a non-oscillation region.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

23.07.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3427442

[Date of registration]

16.05.2003

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

\* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] Solid-state-laser equipment characterized by the beam expander to which it sets to that by which a solid-state-laser medium is arranged between the total reflection mirror which counters mutually and is located, and an output mirror, the predetermined field of the center section of the output mirror has the front face of a low reflection factor and a high reflection factor [ part / other ], and a laser beam is expanded toward the direction of a laser medium between a laser medium and an output mirror intervening.

[Claim 2] Solid-state-laser equipment characterized by the beam expander to which it sets to that by which a solid-state-laser medium is arranged between the total reflection mirror which counters mutually and is located, and an output mirror, the predetermined field of the center section of the output mirror has the front face of a low reflection factor and a high reflection factor [ part / other ], and a laser beam is expanded toward the direction of an output mirror between a laser medium and an output mirror intervening.

[Claim 3] The plate-like solid-state-laser medium by which optical polish of the side face of the pair which countered between the total reflection mirror which counters mutually and is located, and the output mirror was carried out is arranged. In that to which the laser beam was made to progress in the optical polished surface where the above of a laser medium counters by repeating total reflection by turns Solid-state-laser equipment with which the predetermined field of the center section of the output mirror has the front face of a low reflection factor and a high reflection factor [ part / other ], and the diameter is characterized by arranging a cylinder light guide line equal to the shortest crossing dimension of the low reflection factor field of an output mirror in general at the output side of an output mirror.

[Claim 4] In that by which a solid-state-laser medium is arranged between the total reflection mirror which counters mutually and is located, and an output mirror The predetermined circular field of the center section of the output mirror has the front face of a low reflection factor and a high reflection factor [ part / other ]. Solid-state-laser equipment characterized by arranging the cone-like light guide line which becomes small [ a diameter ] as the diameter of the optical plane of incidence is equal to the shortest crossing dimension of the low reflection factor field of an output mirror in general to the output side of an output mirror and keeps away from an output mirror to it.

[Claim 5] The plate-like solid-state-laser medium by which optical polish of the side face of the pair which countered between the total reflection mirror which counters mutually and is located, and the output mirror was carried out is arranged. While making the center section of the output mirror into a high reflection factor in that to which the laser beam was made to progress by repeating total reflection by turns in the optical polished surface where the above of a laser medium counters, the parts of a low reflection factor and the other part Solid-state-laser equipment characterized by arranging in parallel the laser beam beam outputted to two by dissociating by the amendment optical system which was made to form the beam waist of an oscillation laser beam on an output mirror, and has been arranged out of a resonator.

[Claim 6] Solid-state-laser equipment according to claim 5 which is the roof-like prism arranged so that amendment optical system may become perpendicular to the field containing the output laser beam beam from which the ridgeline of a roof was separated.

[Claim 7] Solid-state-laser equipment according to claim 5 which is the rectangular prism which is made to reverse one side of the output laser beam beam from which amendment optical system was separated, returns, and is again reflected in the high reflection factor field of an output mirror.

[Claim 8] Solid-state-laser equipment according to claim 5 which is the cube corner reflector which is made to reverse one side of the output laser beam beam from which amendment optical system was separated, returns, and is again reflected in the high reflection factor field of an output mirror.

[Claim 9] The plate-like solid-state-laser medium by which optical polish of the side face of the pair which countered between the total reflection mirror which counters mutually and is located, and the output mirror was carried out is arranged. In that to which the laser beam was made to progress in the optical polished surface where the above of a laser medium counters by repeating total reflection by turns The predetermined field of the center section of the output mirror has the front face of a low reflection factor and a high reflection factor

[ part / other ]. Solid-state-laser equipment characterized by making the beam waist of an oscillation laser beam form on an output mirror, reflecting one side among the output laser beam beams divided into two, and pouring in into a resonator again from the low reflection factor field of an output mirror.

[Claim 10] Solid-state-laser equipment according to claim 9 made to reflect one side of an output laser beam beam with a rectangular prism.

[Claim 11] Solid-state-laser equipment according to claim 9 made to reflect one side of an output laser beam beam by the cube corner reflector.

[Claim 12] The plate-like solid-state-laser medium by which optical polish of the side face of the pair which countered between the total reflection mirror which counters mutually and is located, and the output mirror was carried out is arranged. In that to which the laser beam was made to progress in the optical polished surface where the above of a laser medium counters by repeating total reflection by turns A means by which the predetermined field of the center section of the output mirror has the front face of a low reflection factor and a high reflection factor [ part / other ], and makes the beam waist of an oscillation laser beam form on an output mirror, and makes an oscillation laser beam the linearly polarized light, Solid-state-laser equipment characterized by having a means to change the output laser beam beam divided into two into the light light and each other plane of polarization cross at right angles, and a means to pile up two beams after plane-of-polarization conversion.

[Claim 13] The plate-like solid-state-laser medium by which optical polish of the side face of the pair which countered between the total reflection mirror which counters mutually and is located, and the output mirror was carried out is arranged. In that to which the laser beam was made to progress in the optical polished surface where the above of a laser medium counters by repeating total reflection by turns The means which makes an oscillation laser beam the linearly polarized light, and a means to divide an output laser beam into two spatially to the monotonous cross direction, Solid-state-laser equipment characterized by having a means to change the divided output laser beam beam into the light light and each other plane of polarization cross at right angles, and a means to pile up two beams after plane-of-polarization conversion.

[Claim 14] The solid state laser equipment characterize by to set to that by which a cylinder-like solid state laser medium have be arrange between the total reflection mirror which counter mutually and be locate, and an output mirror, and to have a means change into a cylindrical beam the output laser beam which spread, the predetermined field of the center section of the output mirror have the front face of a low reflection factor and a high reflection factor [ part / other ], make the beam waist of an oscillation laser beam form on an output mirror, and spread in the shape of a cone.

[Claim 15] Solid-state-laser equipment according to claim 14 which changes an output laser beam into a cylindrical beam with a cone lens.

[Claim 16] The plate-like solid-state-laser medium by which optical polish of the side face of the pair which countered between the total reflection mirror which counters mutually and is located, and the output mirror was carried out is arranged. In that to which the laser beam was made to progress in the optical polished surface where the above of a laser medium counters by repeating total reflection by turns Solid-state-laser equipment with which the predetermined field of the center section of the output mirror is characterized by carrying out ON light of the output laser beam which has the front face of a low reflection factor and a high reflection factor [ part / other ], is made to form the beam waist of an oscillation laser beam on an output mirror, and is divided into two to a separate optical fiber.

[Claim 17] The plate-like solid-state-laser medium by which optical polish of the side face of the pair which countered between the total reflection mirror which counters mutually and is located, and the output mirror was carried out is arranged. Solid-state-laser equipment characterized by carrying out ON light of the laser beam to which the laser beam divided and divided the output laser beam into two spatially crosswise [ monotonous ] in what was made to progress in the optical polished surface where the above of a laser medium counters by repeating total reflection by turns to a separate optical fiber.

[Claim 18] Solid-state-laser equipment characterized by considering as the resonator configuration in which it sets to that by which a solid-state-laser medium is arranged between the total reflection mirror which counters mutually and is located, and an output mirror, the predetermined field of the center section of the output mirror has the front face of a low reflection factor and a high reflection factor [ part / other ], and the beam diameter in a resonator becomes max on an output mirror.

[Claim 19] Solid-state-laser equipment given in either claim 1 with the circular low reflection factor field of an output mirror 12 and 14 thru/or 16 and 18.

[Claim 20] Solid-state-laser equipment given in either of claims 1, 2, 4, and 18 whose solid-state-laser media are plate-like and whose low reflection factor fields of an output mirror are \*\*-like.

[Claim 21] Solid-state-laser equipment given in either of claims 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, and 16 whose low reflection factor fields of an output mirror are \*\*-like.

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DETAILED DESCRIPTION

### [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to the solid-state-laser equipment with which the solid-state-laser medium has been arranged between a total reflection mirror and an output mirror.

[0002]

[Description of the Prior Art] The solid state laser represented by the YAG laser mainly has many operating experiences in the laser-beam-machining field from it being small and being easy to use. Moreover, recently, it also came to permeate many fields, such as measurement and medicine, widely. It is how, as for an important thing, the light of high quality with high condensing nature obtains in application of solid state laser. It is a beam diameter [  $\text{in} / \theta$  and  $\text{in} / d$  / a beam waist ] in here where  $\theta$  is generally used as a scale of the quality of a laser beam. [ a beam divergence angle ]  $\theta$  is saved even if a laser beam is changed by the lens. That is, it is the diameter of a beam waist of  $\theta_1$  and a condensing point about the converging angle at the time of condensing a laser beam with a convex lens  $d_1$ . When it carries out, it is  $\theta = \theta_1 d_1$ . It is realized. Therefore,  $\theta_1$  is  $d_1$ , when it similarly takes and  $\theta$  is small. It becomes small and a laser beam can be condensed at a small spot. If a laser beam can be extracted small, high energy density will be obtained and workability ability will improve. Moreover, also when transmitting a laser beam with an optical fiber, what has a small diameter can be used. If the diameter of a fiber is small, outgoing radiation light can be condensed at a small spot.

[0003] As an approach usually used in order to make  $\theta$  small, it is (a). (b) which enlarges cavity length (c) which inserts a beam expander into a resonator (d) using an unstable resonator It sets to solid state laser and is a plate. (slab) (e) using the laser medium of a \*\* A laser beam is outputted from the pinhole established in the output mirror.

[0004] with \*\*

[Problem(s) to be Solved by the Invention] The lens 21 of the focal distance  $f$  as shown in drawing 2 is inserted, and it is  $a_1$ . Radius of curvature  $R_1$  which keeps its distance A total reflection mirror 22 and  $a_2$  Radius of curvature  $R_2$  which keeps its distance The stability of the optical resonator with which opposite arrangement of the output mirror 23 is carried out can be expressed with resonator parameter  $g_1 = 1 - a_2/f - a_0/R_1$   $g_2 = 1 - a_1/f - a_0/R_2$ . It is  $a_0 = a_1 + a_2 - a_1 a_2/f$  here.  $g_1$  and  $g_2$  If it uses, the conditions by which a laser beam is shut up in a resonator will become  $0 < g_1$   $g_2 < 1$  (1). Moreover,  $g_1$  and  $g_2$  Change also changes  $\theta$  and  $d$ .

[0005] Usually, with the equipment using the laser rod-like medium used, temperature is high in the rod center section, and a periphery becomes low. Therefore, convex lens of a kind [ medium / laser ] (heat lens) It carries out, and since it acts, it becomes a resonator configuration equivalent to drawing 2. The focal distance  $f$  of a heat lens is the resonator parameter  $g_1$  and  $g_2$  by the laser output, in order to change with input energies. It changes.  $g_1$  and  $g_2$  When it changes, not only depending on  $\theta$  changing but depending on the case, it is a formula (1). Conditions for stability are no longer fulfilled and an oscillation becomes difficult.

[0006] It is the above (a) in order to make  $\theta$  small. When cavity length is enlarged, it is  $a_1$  and  $a_2$ . It becomes large. Therefore, a slight change of  $f$  is also  $g_1$  and  $g_2$ . It comes to change a lot and the engine performance of a target is no longer obtained only on condition that specification. (b) Since it is equivalent to enlarging cavity length, the approach using a \*\* beam expander is (a). The conditions from which the engine performance of a target is obtained will be limited like a method. (c) Although the approach using \*\*\*\*\* is a means very leading when making  $\theta$  small, it is (a) when a thermal lensing effect is large. (b) Similarly except the limited condition the high engine performance is not obtained. (d) It is the approach of reducing the \*\*\*\*\* itself and is (a). (b) (c) It differs fundamentally. However, there is a problem [  $d$  / slab cross direction  $\theta$  ] of being large, in this case. Moreover, it is difficult for a beam to condense it at a circular spot with a rectangle, since  $\theta$  also changes with directions. Therefore, un-arranging [ that cutting width of face changes with migration directions of a beam in laser beam cutting ] arises.

[0007] (e) It is mainly used for the small gas laser of gain for many years, and the approach of establishing a minute pinhole in a \*\*\*\*\* mirror is C.KN.Patel et al, Appl.Phys.Lett, Vol.4, and No.1(1964) P18. The example is

indicated. Moreover, in D.E.McCumber, The Bell System Technical Journal, and Vol.44(1965) P333, detailed resonance modal analysis in case a hole is in an output mirror is made. Hole (hole) Since it is almost equal, as for the case where the method using the existing output mirror uses the usual partial transparency mirror, and theta, only the part to which d becomes small can make theta small. In this case, the transmission of an output mirror is given at a rate that the area of the pin pole occupies to the beam cross section. The way of estimating effective permeability in this way stops however, realizing as this is effective only when the diameter of a pinhole is small, and the diameter of a pinhole becomes large. This is because laser oscillation stops occurring near the center section of the laser medium 25, when the bore diameter of a total reflection mirror 2 and the output mirror 24 of the opposite side becomes large to the laser medium 25, as shown in drawing 3. Therefore, effective permeability will become smaller than the above-mentioned value. For this reason, by laser with the large optimal permeability, it becomes difficult to obtain the target permeability and high effectiveness is not acquired. Moreover, that the part which is not oscillated is made itself causes degradation. The technical problem about the ON light to an optical fiber is one of things common to solid state laser besides above. As mentioned above, the conditions which make the diameter of a condensing spot smaller than the diameter of an optical fiber are filled with making theta smaller than the value of a certain purpose. However, even if this condition is fulfilled, when carrying out incidence of the laser beam to the optical fiber with a diameter of 1mm or less usually used, in order to make a condensing spot in agreement with a fiber incidence edge, there is a problem that delicate accommodation is required and the regulatory mechanism for it also becomes complicated.

[0008] The first purpose of this invention is to solve the above-mentioned fault of the conventional solid state laser, and offer the solid state laser in which the laser oscillation of the small high beam quality of theta is possible by the large service condition. The second purpose of this invention is to solve the above-mentioned fault of the conventional slab laser, and obtain a circular condensing beam. The third purpose of this invention is to solve the above-mentioned fault of the conventional solid state laser, and offer the solid state laser which can carry out ON light to an optical fiber easily.

[0009]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the first above-mentioned purpose, the first this invention sets to the solid-state-laser equipment with which a solid-state-laser medium is arranged between the total reflection mirror which counters mutually and is located, and an output mirror, the predetermined field of the center section of the output mirror has the front face of a low reflection factor and a high reflection factor [ part / other ], and the beam expander to which a laser beam is expanded toward the direction of a laser medium between a laser medium and an output mirror should intervene. Moreover, the second this invention shall be set to that by which a solid-state-laser medium is arranged between the total reflection mirror which counters mutually and is located, and an output mirror, the predetermined field of the center section of the output mirror shall have the front face of a low reflection factor and a high reflection factor [ part / other ], and the beam expander to which a laser beam is expanded toward the direction of an output mirror between a laser medium and an output mirror should intervene.

[0010] In order to attain the above-mentioned first and the second purpose, the third this invention The plate-like solid-state-laser medium by which optical polish of the side face of the pair which countered between the total reflection mirror which counters mutually and is located, and the output mirror was carried out is arranged. In the solid-state-laser equipment with which the laser beam was made to progress in the optical polished surface where a laser medium counters by repeating total reflection by turns The predetermined field of the center section of the output mirror shall have the front face of a low reflection factor and a high reflection factor [ \*\* / part / of an except ], and the cylinder light guide line equal to the shortest crossing dimension of the low reflection factor field of an output mirror in general should be arranged in the output side of an output mirror for the diameter.

[0011] In order to attain the above-mentioned first and the third purpose, the fourth this invention In the solid-state-laser equipment with which a solid-state-laser medium is arranged between the total reflection mirror which counters mutually and is located, and an output mirror The predetermined circular field of the center section of the output mirror has the front face of a low reflection factor and a high reflection factor [ part / other ]. The cone-like light guide line which becomes small [ a diameter ] should be arranged as the diameter of the optical plane of incidence was equal to the shortest crossing dimension of the low reflection factor field of an output mirror in general to the output side of an output mirror and kept away from the output mirror to it.

[0012] In order to attain the first above-mentioned purpose, the fifth this invention The plate-like solid-state-laser medium by which optical polish of the side face of the pair which countered between the total reflection mirror which counters mutually and is located, and the output mirror was carried out is arranged. While making the center section of the output mirror into a high reflection factor in the solid-state-laser equipment with which the laser beam was made to progress by repeating total reflection by turns in the optical polished surface where the above of a laser medium counters, the parts of a low reflection factor and the other part The beam

waist of an oscillation laser beam shall be made to form on an output mirror, and the laser beam beam outputted to two by dissociating by the amendment optical system arranged out of a resonator shall be arranged in parallel. [ whether it is the roof-like prism arranged so that amendment optical system may make it perpendicular to the field containing the output laser beam beam separated in the ridgeline of a roof, and ] [ whether it is the rectangular prism which is made to reverse one side of the separated output laser beam beam, returns, and is again reflected in the high reflection factor field of an output mirror, and ] Or it is effective that it is the cube corner reflector which is made to reverse one side of the separated output laser beam beam, returns, and is again reflected in the high reflection factor field of an output mirror. The sixth this invention moreover, between the total reflection mirror which counters mutually and is located, and an output mirror In the solid-state-laser equipment with which the plate-like solid-state-laser medium by which optical polish was carried out is arranged, and the side face of the pair which countered was made to progress by a laser beam repeating total reflection by turns in the optical polished surface of the above of a laser medium where it counters The predetermined field of the center section of the output mirror has the front face of a low reflection factor and a high reflection factor [ part / other ]. The beam waist of an oscillation laser beam shall be made to form on an output mirror, one side shall be reflected among the output laser beam beams divided into two, and it shall pour in into a resonator again from the low reflection factor field of an output mirror. It is good to reflect one side of an output laser beam beam by the rectangular prism or the cube corner reflector.

[0013] In order to attain the first above-mentioned purpose, further the seventh this invention The plate-like solid-state-laser medium by which optical polish of the side face of the pair which countered between the total reflection mirror which counters mutually and is located, and the output mirror was carried out is arranged. In the solid-state-laser equipment with which the laser beam was made to progress in the optical polished surface where the above of a laser medium counters by repeating total reflection by turns A means by which the predetermined field of the center section of the output mirror has the front face of a low reflection factor and a high reflection factor [ part / other ], and makes the beam waist of an oscillation laser beam form on an output mirror, and makes an oscillation laser beam the linearly polarized light, It shall have a means to change the output laser beam beam divided into two into the light light and each other plane of polarization cross at right angles, and a means to pile up two beams after plane-of-polarization conversion. The eighth this invention moreover, between the total reflection mirror which counters mutually and is located, and an output mirror The plate-like solid-state-laser medium by which optical polish of the side face of the pair which countered was carried out is arranged, and a laser beam resembles the solid-state-laser equipment which was made to advance in the optical polished surface of the above of a laser medium where it counters by repeating total reflection by turns, and it sets. It has a means to change the output laser beam beam which divided crosswise [ monotonous ] the means which makes an oscillation laser beam the linearly polarized light, and the output laser beam with a means to divide into two spatially into the light light and each other plane of polarization cross at right angles, and a means to pile up two beams after plane-of-polarization conversion.

[0014] In order to attain the first above-mentioned purpose, in addition, the ninth this invention In the solid-state-laser equipment with which the cylinder-like solid-state-laser medium has been arranged between the total reflection mirror which counters mutually and is located, and an output mirror It shall have a means to change into a cylindrical beam the output laser beam spread, the predetermined field of the center section of the output mirror having the front face of a low reflection factor and a high reflection factor [ part / other ], making the beam waist of an oscillation laser beam form on an output mirror, and spreading in the shape of a cone. And it is effective to change an output laser beam into a cylindrical beam with a cone lens. The tenth this invention between the total reflection mirror which counters mutually and is located, and an output mirror In the solid-state-laser equipment with which the plate-like solid-state-laser medium by which optical polish was carried out is arranged, and the side face of the pair which countered was made to progress by a laser beam repeating total reflection by turns in the optical polished surface of the above of a laser medium where it counters The predetermined field of the center section of the output mirror shall carry out ON light of the output laser beam which has the front face of a low reflection factor and a high reflection factor [ part / other ], is made to form the beam waist of an oscillation laser beam on an output mirror, and is divided into two to a separate optical fiber. The eleventh this invention between the total reflection mirror which counters mutually and is located, and an output mirror In the solid-state-laser equipment with which the plate-like solid-state-laser medium by which optical polish was carried out is arranged, and the side face of the pair which countered was made to progress by a laser beam repeating total reflection by turns in the optical polished surface of the above of a laser medium where it counters ON light of the laser beam which divided and divided the output laser beam into two spatially to the monotonous cross direction shall be carried out to a separate optical fiber. It shall set to the solid-state-laser equipment with which a solid-state-laser medium is arranged between the total reflection mirror which counters mutually and is located, and an output mirror, the predetermined field of the center section of the output mirror shall have the front face of a low reflection factor and a high reflection factor [ part / other ], and the twelfth this invention shall consider it as the resonator configuration in which the beam diameter in a

resonator becomes max on an output mirror. The low reflection factor field of an output mirror is circular, or when a solid-state-laser medium is plate-like, it is good that it is \*\*-like.

[0015]

[Function] this invention person considered that the problem to which the effective permeability of an output mirror will fall if a hole mirror is used for an output mirror was solvable by giving a reflection factor slightly to the part of a hole. Such a mirror can be easily manufactured by performing coating which specifically makes the part equivalent to a hole high transmission not using an actual hole, and makes other parts a high reflection factor. Since it will remain slightly also after the laser beam which goes and comes back to the inside of a resonator hits a hole if the part of a hole has a reflection factor slightly, the mode in which the whole laser medium is occupied is always formed, and the degradation by formation of a non-oscillated field can be prevented. furthermore, this invention person considered that it was markedly alike and the engine performance of laser could improve by combining a beam expander with this method.

[0016] The first invention arranges a beam expander so that a beam may be reduced toward the direction of an output mirror. reducing a beam diameter just before an output mirror with the beam expander in a resonator -- a bore diameter -- small -- carrying out -- in addition -- and it is possible to make effective permeability high. The approach of arranging a beam expander in this way is (b) of the above-mentioned conventional technique. It corresponds, and a stable oscillation field is narrowed, so that magnifying power of a beam expander is enlarged. However, since only the part which can make  $\theta$  small by the hole mirror can set up a dilation ratio small according to this invention, a stable zone becomes large and becomes possible [ attaining the engine performance of a target by the large service condition ].

[0017] The second invention is the approach of arranging the beam expander in a resonator so that a beam may be expanded toward the direction of an output mirror. Since  $\theta$  does not change before and behind a lens as already explained,  $\theta$  of the laser beam which will be outputted if a beam is expanded by such arrangement becomes small. Of course, since  $d$  becomes large, it cannot make  $\theta$  small by the usual output mirror. However, the small laser beam of  $\theta$  can be outputted by using a hole mirror by this invention. Such arrangement is the above-mentioned conventional technique (b) about a beam expander. It is reverse. therefore, a stable zone -- expanding -- in addition -- and  $\theta$  can be made small.

[0018] These two methods are good to use properly with the distance of an output mirror and a condenser lens. As shown in drawing 4 , it is a beam diameter  $d_1$ . The convex lens 21 of a focal distance  $f$  is put on the place of distance  $L_1$  from the first beam waist 26, light is condensed, and it is distance  $L_2$  from a lens. It is a path  $d_2$  to a place. A degree type is realized when forming the second beam waist 27.

$1/d_2^2 = 1/d_1^2 (1-L_1/f)^2 - (1/f\theta)^2$  --- (2)  $\theta$  is a beam divergence angle in the left-hand side of a lens here. With the resonator configuration which uses as a flat-surface mirror the output mirror generally used widely, the first beam waist is formed on an output mirror.

[0019] First, it is  $L_1$  by the case where detach distance and a condenser lens is placed from an output mirror. It is a formula (2) greatly. The case where the 2nd term can be disregarded is considered. In this case Since it becomes  $d_2 \approx d_1 / [1 - (L_1 / f)]$  --- (3), it is  $d_2$ . It is  $d_1$  in order to make it small. What is necessary is just small. Therefore, the first invention is suitable in this case.

[0020] On the other hand, it is especially  $L_1$  by the case where a condenser lens is placed near the output mirror. It is a formula (2) when close to  $f$ . The 1st term can be disregarded, it will become  $d_2 \approx f\theta$  --- (4), and the second invention will be suitable. Formula (3) When realized,  $\theta$  is  $d_2$  directly. It does not influence. However, since the beam diameter of the laser beam which reaches a condenser lens will become large if  $\theta$  is large, it is inconvenient at that the lens of the diameter of macrostomia is needed, and the point that a converging angle becomes large. That is, there is no change in the smaller one of  $\theta$  being desirable similarly even in this case. On the other hand, formula (4) It is  $d_2$  when realized. It is  $d_1$  although decided only by  $\theta$ . If large, the diameter lens of macrostomia is needed also in this case. That is, it is desirable to use two methods properly by arrangement of a lens at a point with important any condensing method making  $\theta$  small, although it is the same.

[0021] By sticking the third invention to an output mirror in the slab laser which uses a hole mirror, and arranging the transparency section and the cylinder light guide line where a diameter is almost equal, it is equalized while a laser beam repeats total reflection on a cylinder side face, and light guide line output light serves as a circular beam. Moreover, since  $\theta$  is also equalized, a condensing beam cross section also becomes a round shape. In the solid state laser which uses a hole mirror, it sticks to an output mirror, a diameter at the bottom arranges the almost equal cone light guide line of the transparency section, and the fourth invention connects an optical fiber to a light guide line outlet. a cone light guide line -- for example, I.K -- it is indicated by Optical and Quantum Electronics and Vol.23(1991) P101 by Ilev and others. According to this invention, it is condensed to the target path, repeating total reflection on a cone side face, and ON light of the laser beam outputted from the hole mirror is carried out to an optical fiber. In this case,  $\theta$  becomes large as it is condensed, but since  $\theta$  is saved, if  $\theta$  of the purpose is guaranteed at the hole mirror outgoing



radiation time, fiber ON light will become possible. In order to condense the usual diameter laser beam of macrostomia to the diameter of a fiber only in a cone light guide line, by a light guide line's becoming large-sized, and using a hole mirror, although adoption is difficult as a matter of fact, a small cone light guide line can be used and the fiber ON light by this method becomes possible.

[0022] The fifth, sixth, seventh, ninth, and tenth invention uses that an output laser beam separates into two beams in the slab laser which uses a hole mirror with the resonator configuration in which a beam waist is made to form on an output mirror. Such a resonator configuration is possible, when a hole mirror is made into a flat surface and it makes a total reflection mirror a concave surface. fluoroscopy \*\*\*\* (FFP) of the output laser beam which measured drawing 5 by the slab laser by which the artificer used the diameter  $\phi 6\text{mm}$  hole mirror of the transparency section of this format it is . Output light divides this result into two, and whole theta shows that theta of each beam is very as small as 7 or less mrad(s) to 36mrad(s) and a large thing.

[0023] As shown in drawing 6 , the comparison with a hole mirror resonator and the train of a convex lens 21 can explain this phenomenon. When a hole mirror is used, only a beam of light with a big inclination penetrates. And an outline decision of the effective transmission of an output mirror is made by the ratio of the beam cross section in a resonator, and the area of the hole section. so, effective permeability is oscillated in a core --- low --- to degree the mode, it will be large and the higher mode will be small. Therefore, in a hole mirror resonator, only the mode of the maximum high order will almost oscillate.

[0024] It is equivalent to the beam of light which vibrates and progresses with the maximum higher mode covering full in a lens train. When this beam of light crosses a core, that inclination becomes max so that clearly from drawing 6 . That is, in a hole mirror resonator, when an inclination becomes max, the beam of light involving the whole field regulated with slab hits the hole section, and is taken out outside. That is, the hole mirror will also have achieved the function which it not only regulates d, but chooses and outputs the beam of light of a specific inclination.

[0025] In an old view, theta in this case is 36mrad(s), and is set to  $\text{thetad}=36 \times 6=216\text{mm mrad}$ . However, originally it is the scale of brightness. ( $\text{brightness} \times 1/\text{thetad}$ ) When considering thetad to carry out, since it is the include angle which the light to emit occupies, theta should except and consider the central deficit part. Namely, effective  $\text{thetad}=7 \times 2 \times 6=84\text{mm mrad}$  It becomes. However, it is a formula (4) when placing a condenser lens near the output mirror. Since the decided diameter of condensing is decided by whole theta, the advantage of a deficit being in the central part of output light is not employed efficiently. On the other hand, a condenser lens is detached and it is a formula (3). Since a condenser lens cannot be enough separated from an output mirror if output light separates into two also when condensing light in the field applied, the diameter of a condensing spot cannot be made small.

[0026] By the fifth invention, it is drawing 7 (a). It is drawing 7 (b) about the light 71 and 72 which dissociates and progresses as shown. If a roof prism 13 amends in parallel so that it may be shown, d will be set to a minimum of 12mm by the ability setting whole theta to a minimum of 7 mrad. Thereby, thetad is a minimum of 84 mm mrad. It becomes and is in agreement with the above-mentioned effective thetad. The sixth invention turns up one side of the output light to separate by a cube corner reflector etc., and pours it in into a resonator again from the output mirror hole section. Thereby, since it is set to a minimum of 6mm, d is a minimum of 42 mm mrad about thetad. It can carry out.

[0027] In the seventh invention, in the same resonator as the fifth and sixth invention, after oscillating a laser beam as the linearly polarized light, 90 degrees of one plane of polarization of the beam divided into two are rotated, and both are piled up. Thereby, thetad is 42mm mrad like the sixth invention. It becomes. In the eighth invention, in the usual slab laser which does not use a hole mirror, a laser beam is oscillated by the linearly polarized light, and after separating an output laser beam crosswise [ slab ] two and rotating 90 degrees of one plane of polarization of the separated light, one side is laid on top of another side. Thereby, thetad can be set to one half of thetad of output light.

[0028] The ninth invention applies a hole mirror to rod mold solid state laser. A laser beam is outputted by the principle same when a hole mirror is used by rod mold laser as a conic light which lacked the core as output light separates into two in slab laser. then, the same view as the fifth invention --- this conic light --- cone lens (axicon) etc. --- it changes into cylinder-like light and the whole flare angle is made small.

[0029] The tenth invention is applied in case ON light of the laser beam is carried out to two optical fibers. Like \*\*\*\*, in the slab laser which used the hole mirror, output light separates into two and each thetad is very small. Therefore, by carrying out ON light of these to another optical fiber, a leeway is given for a close striation affair and adjustment also becomes easy. Moreover, a narrow diameter optical fiber can be used.

[0030] The eleventh invention is applied in case ON light of the laser beam is carried out to two or more optical fibers. Although the slab laser of thetad of the slab cross direction is large, thetad of the slab thickness direction is small. Then, near the output mirror, by dividing a laser beam beam into two or more beams spatially crosswise [ slab ], d can be reduced to  $1/[\text{the number of partitions}]$ , and every direction can obtain the small laser beam of thetad. theta is reducible if a laser beam beam is divided similarly at the point distant from the output mirror.

That is, according to this invention, it cannot call at the point of beam division, but the  $\theta$  can obtain two or more original laser beam beams of  $1/[\text{the number of partitions}]$ . By carrying out ON light of such light to a respectively different optical fiber, a leeway is given for a close striation affair and adjustment also becomes easy. Moreover, a narrow diameter optical fiber can be used.

[0031] Unlike the method which makes a beam waist form on an above-mentioned hole mirror, the twelfth invention puts a hole mirror on the location where the path of the laser beam in a resonator becomes large. This approach corresponds, when using the concave surface mirror 2 side of the hole mirror resonator of drawing 6 as a hole mirror. Since the inclination of the light which passes the hole section becomes so small that it separates from a beam waist, in this arrangement, the whole beam flare angle becomes smaller than the case where a hole mirror is placed on a beam waist. Therefore, although this method is not suitable for the purpose which separates a beam, when using the output light from a hole mirror as it is, it is a method which is easy to use.

[0032]

[Example] Drawing which gave the same sign to the part common to each drawing hereafter is quoted, and the example of this invention is explained. drawing 1 -- the first invention -- slab mold Nd: -- it is the example applied to the YAG laser. Slab laser applied this invention in order for the  $\theta$  of the slab thickness direction to improve only the  $\theta$  of the slab cross direction here, since it is very small. The hole mirror 3 which has a total reflection mirror 2 in the 1 side of the Nd:YAG slab 11 among drawing, and has the transparency section 31 of a low reflection factor in the center section as an output mirror at the side else is arranged, and the beam expander to which the convex cylinder lens 41 and the concave cylinder lens 51 are made to intervene between slab 11 and the output mirror 3, and a laser beam is expanded toward the direction of slab is formed. The hole mirror 3 forms a high reflector in the periphery 32 of the front face of a glass base by coating, and makes the center section which remained the transparency section 31. The diameter of the transparency section 31 was decided to be 6mm so that effective permeability might become the optimal. The light which comes out of slab 11 and goes to the output mirror 3 reaches the hole mirror 3, after having beam width reduced by the beam expander which consists of cylinder lenses 41 and 51. Each every direction of the cross section of the laser beam 6 after contraction becomes circular [ the cross-section configuration NFP of the output laser beam 7 just behind an output mirror, i.e., a near-field pattern, ], when larger than the diameter of the transparency section 31. However, since distribution of  $\theta$  of the direction of a beam cross section is a rectangle, the cross-section configuration FFP in the point distant from the output mirror enough, i.e., a far field pattern, serves as a rectangle. When one of every direction of a laser beam cross section equivalent to the output mirror 3 is smaller than the diameter of the transparency section 31, a rectangular parallel part appears in a part of NFP.

[0033] Drawing 8 is another example of the first invention. Although this has the same structure as drawing 1, it differs in that the stripe mirror 33 which has the band-like transparency section 34 is used for the output mirror. It is enough as the  $\theta$  of the slab thickness direction of slab laser just to improve only crosswise  $\theta$  originally, since it is small in many cases. Then, in slab laser, the surra ripe mirror which restricts only the beam width of the slab cross direction instead of a hole mirror can be used like this example. This is being able to say to all the examples about slab laser below.

[0034] drawing 9 -- the second invention -- rod mold Nd: -- it is the example applied to the YAG laser, and between the Nd:YAG rod 12 and the hole mirror 3, a convex lens 4 is arranged to the direction near a concave lens 5 and an output mirror, and the beam expander to which a laser beam 6 is expanded toward the direction of the output mirror 3 is formed in the direction near a rod. In this case, both NFP and FFP are circular. The diameter of the transparency section 31 of the hole mirror 3 of this example was set to 4-5mm.

[0035] drawing 10 -- slab mold Nd: of the third invention -- the cylinder light guide line 8 which is an example using YAG laser 11 and has the diameter of the transparency section 31 of the hole mirror 3 and an almost equal diameter behind the hole mirror 3 is arranged. The side face uses the glass rod flat optical enough for the cylinder light guide line 8 here. In this example, after the laser beam which came out of the hole mirror 3 goes into the cylinder light guide line 8 and almost all the directions component carries out total reflection several times on a side face, it is taken out from termination as an output light 7. Thus, since the direction of light is mixed in a light guide line, each NFP and FFP of the output light 7 become circular. Therefore, if output light is condensed with a lens, a circular condensing beam will be obtained. Moreover, since the  $\theta$  is saved by light guide line 8 passage, the  $\theta$  of the output light 7 does not exceed the maximum of the  $\theta$  of light guide line incident light.

[0036] drawing 11 -- rod mold Nd: of the fourth invention -- it is an example using YAG laser 12, and the cone light guide line 9 has been arranged behind the hole mirror 3, and it is continuously connected with the optical fiber 10 for optical transmissions. The laser beam which came out of the hole mirror 3 is introduced into the direct cone light guide line 9, and is drawn in an optical fiber 10. Since the  $\theta$  is saved also in this case, the  $\theta$  of the light 7 outputted from fiber 10 edge is equal to the  $\theta$  of hole mirror output light.

[0037] Of course, it is also possible to apply the first invention to rod laser and to apply the second invention to slab laser in addition to the above example. Moreover, it is also possible to add the beam expander by the second invention to the example of the third and fourth invention for a start. Drawing 12 is the first example of the fifth invention. At this example, it is drawing 7 (b). The roof prism 13 has amended the output light beam 7 divided into two in parallel light the same with having been shown. However, it is necessary to change the tilt angle beta of the roof prism shown in drawing 7 according to the whole beam flare angle in the example of drawing 12. Therefore, some kinds of prism 13 with which beta differs is prepared, and what selects the optimal thing if needed is needed. Moreover, when a flare angle changes depending on an output, even if it selects the optimal roof prism on condition that specification, if a service condition changes, optimum conditions will no longer be fulfilled and theta after amendment will become large. In drawing 13, the second example of the fifth invention solves this problem. this invention person is drawing 7 (a). The outputs 71 and 72 separated so that it may be shown are [ a center line and ] the include angle to accomplish alpha 1 and alpha 2 When carried out, the point used as alpha1 =alpha2 was noted. The wave front of an oscillation laser beam is concluded from becoming an output mirror side and parallel. If this is used, as shown in drawing 13, with a rectangular prism 14, on the other hand, 72 is turned up and two beams can be automatically made parallel by [ of a separation beam ] making it reflect in the high reflection factor part of the hole mirror 3. According to this method, what exchanges prism according to a beam flare angle becomes unnecessary.

[0038] Drawing 14 is the third example of the fifth invention. In this example, the cube corner reflector 15 is used instead of the rectangular prism 14 of drawing 13. Since it is not based on an installation include angle but light is surely turned up in parallel, a cube corner reflector 15 is [ using a rectangular prism 14 rather than ] easy to adjust. Drawing 15 is the example of the sixth invention. In this example, one side of the light divided into two is turned up by the cube corner reflector 15, and light is again poured in into a laser cavity from the hole mirror transparency section 31. Under the present circumstances, although all the turned-up light cannot be regouted in a resonator, since it is reflected in another light and parallel as explained in relation to the fifth invention, the light reflected by protruding the hole mirror transparency section 31 can obtain a single laser beam beam after all, and can make thead the abbreviation 1/2 of the equipment by the fifth invention. In this case, of course, it is also possible to turn up a laser beam with a rectangular prism 14 like the example of the fifth invention shown in drawing 13.

[0039] Drawing 16 is the example of the seventh invention. In this example, the laser beam incidence end face of the Nd:YAG slab 11 is cut so that an angle of incidence may be made into a brewster's angle. At brewster's-angle incidence, it is S polarization component. (plane of polarization is parallel to space) It is P polarization component to receiving loss by plane of incidence. (plane of polarization is perpendicular to space) Loss serves as zero. Therefore, the output laser beam 6 turns into the linearly polarized light of only P polarization component as a matter of fact. In this example, 90 degrees of plane of polarization are rotated through one side of the laser beam divided into two to lambda/2 plate 16, and incidence is carried out to a polarization beam splitter 18 through the clinch mirror 17. This polarization beam splitter 16 is P polarization. (to a splitter, it is S polarization) It reflects and is S polarization. (to a splitter, it is P polarization) It passes. Therefore, as shown in drawing, two beams lap, and become one laser beam 7, and this laser beam 7 turns into elliptically polarized light. According to the seventh invention, thead comparable as the sixth invention can be obtained.

[0040] Drawing 17 is the example of the eighth invention. In this example, P polarization laser beam is outputted using the usual partial transparency mirror 35 by the same principle as the seventh invention shown in drawing 16 as an output mirror. As shown in drawing, the outlines 1/2 of an output beam are divided and taken out by prism 14. The taken-out beam passes through the detour formed by two clinch mirrors 17, and 90 degrees of plane of polarization rotate it with lambda/2 plate 16 inserted in the middle. Two beams are compounded by the same principle as the seventh invention at one laser beam 7, and thead of the slab cross direction is set to one half of origin.

[0041] Drawing 18 (a) (b) It is the example of the ninth invention. In this invention that used the hole mirror 3 for the rod mold solid state laser 12, the output light 6 spreads in the shape of a cone. Although it is large, since it is small, for the flare of the thickness direction of a cone, the whole flare angle is drawing (b). Axicon shown with A view side elevation (cone lens) 19 By changing into a cylinder beam, the small beam of the whole flare can be obtained and the small laser beam of thead can be obtained by the same principle as the fifth invention shown in drawing 12.

[0042] Drawing 19 is the example of the tenth invention. In the slab laser using the hole mirror 3, ON light of the output light 6 divided into two is carried out to the separate optical fiber 10 with a condenser lens 20. In this example, as mentioned above, since it is very small, thead of each beam has allowances in a fiber close striation affair, and adjustment of ON light is easy. Drawing 20 is the example of the eleventh invention. In this example, thead has obtained one half of two beams of origin by the approach used by drawing 17 using the usual partial transparency mirror 35 as an output mirror. ON light of each beam is carried out to the separate optical fiber 10 with a condenser lens 20. Allowances are in a fiber close striation affair also in this example, and adjustment of

ON light is easy.

[0043] Drawing 21 is the example which applied the twelfth invention to slab laser. Unlike the above-mentioned hole mirror method, this example uses the concave surface mirror as a flat-surface mirror and a hole mirror 3 as a total reflection mirror 2. Since the whole beam flare angle becomes small from the method which uses a flat-surface hole mirror, this example is the configuration that did not perform single beam-ization but it was suitable for the purpose using an output beam as it is.

[0044] In addition, this twelfth invention is applicable to rod mold solid state laser as well as the example shown in drawing 8.

[0045]

[Effect of the Invention] According to each invention, except for the eighth and eleventh invention, the degradation by formation of the non-oscillated field in the solid state laser in the case of being large of the diameter of a hole is prevented by considering as the high permeability section which is not a hole about the transparency section of the hole mirror as an output mirror for making  $\theta_{ad}$  small, and has few reflection factors.

[0046] For a start, according to the second, fifth, sixth, eighth, ninth, and twelfth invention, by the conventional solid state laser, if it is going to make  $\theta_{ad}$  small, the problem that the range of the output which can be oscillated to stability is narrowed can be solved, and the solid-state-laser equipment which outputs the small laser beam of  $\theta_{ad}$  in the large output range can be obtained. According to the third invention, by the conventional slab laser, since FFP becomes a rectangle, making a condensing spot circular can solve the problem of being difficult, and the slab laser equipment with which a circular condensing cross section is obtained easily can be obtained.

[0047] According to the fourth, tenth, and eleventh invention, by the conventional solid state laser, the adjustment for pouring a laser beam into an optical fiber can solve the trouble that it is difficult and an adjustment device also becomes complicated, and optical fiber ON light can obtain very easy solid-state-laser equipment.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

**DESCRIPTION OF DRAWINGS**

**[Brief Description of the Drawings]**

- [Drawing 1] The perspective view of the solid-state-laser equipment of one example of the first invention
- [Drawing 2] The explanatory view of a thermal lensing effect
- [Drawing 3] The sectional view showing the oscillation condition in a pinhole mirror with a big bore diameter
- [Drawing 4] A convex lens and the explanatory view of the relation of a beam waist
- [Drawing 5] The diagram showing the measurement result of the far field pattern of hole mirror mold slab laser
- [Drawing 6] The explanatory view of the phenomenon which the output light of hole mirror mold slab laser divides into two
- [Drawing 7] It is (a) about the approach of amending a separation beam in parallel. It compares with the case where it does not amend and is (b). Shown explanatory view
- [Drawing 8] The perspective view of the solid-state-laser equipment of another example of the first invention
- [Drawing 9] The perspective view of the solid-state-laser equipment of one example of the second invention
- [Drawing 10] The perspective view of the solid-state-laser equipment of one example of the third invention
- [Drawing 11] The perspective view of the solid-state-laser equipment of one example of the fourth invention
- [Drawing 12] The perspective view of the solid-state-laser equipment of the first example of the fifth invention
- [Drawing 13] The front view of the solid-state-laser equipment of the second example of the fifth invention
- [Drawing 14] The front view of the solid-state-laser equipment of the third example of the fifth invention
- [Drawing 15] The front view of the solid-state-laser equipment of one example of the sixth invention
- [Drawing 16] The front view of the solid-state-laser equipment of one example of the seventh invention
- [Drawing 17] The front view of the solid-state-laser equipment of one example of the eighth invention
- [Drawing 18] The solid-state-laser equipment of one example of the ninth invention is shown, and it is (a). A perspective view and (b) (a) View side elevation
- [Drawing 19] The front view of the solid-state-laser equipment of one example of the tenth invention
- [Drawing 20] The front view of the solid-state-laser equipment of one example of the eleventh invention
- [Drawing 21] The front view of the solid-state-laser equipment of one example of the twelfth invention

**[Description of Notations]**

- 11 Nd:YAG Slab
- 12 Nd:YAG Rod
- 2 Total Reflection Mirror
- 3 Hole Mirror
- 31 Hole Mirror Transparency Section
- 32 High Reflector
- 33 Stripe Mirror
- 34 Stripe Mirror Transparency Section
- 35 Partial Transparency Mirror
- 4 Convex Lens
- 41 Convex Cylinder Lens
- 5 Concave Lens
- 51 Concave Cylinder Lens
- 6 Laser Beam
- 7 Output Laser Beam
- 8 Cylinder Light Guide Line
- 9 Cone Light Guide Line
- 10 Optical Fiber
- 13 Roof Prism
- 14 Rectangular Prism
- 15 Cube Corner Reflector
- 16 Lambda/2 Plate

17 Clinch Mirror  
18 Polarization Beam Splitter  
19 Axicon  
20 Condenser Lens

[Translation done.]

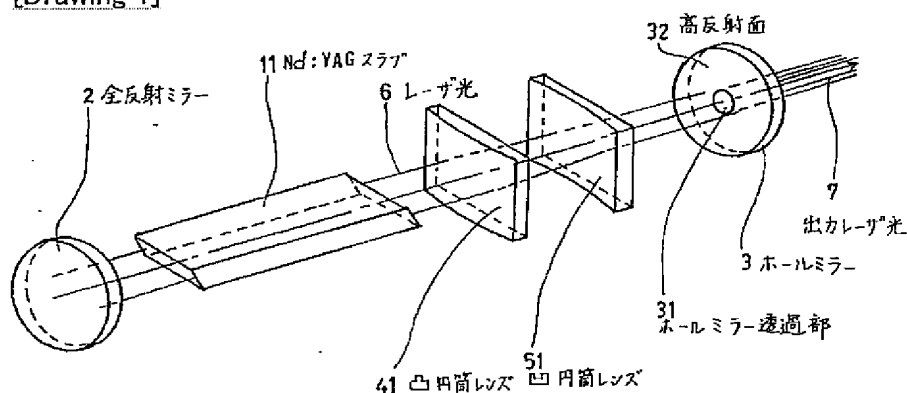
\* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

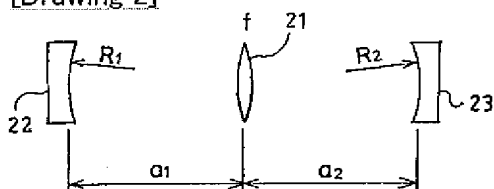
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

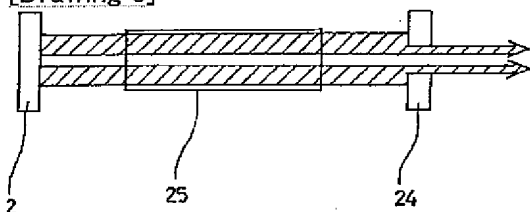
[Drawing 1]



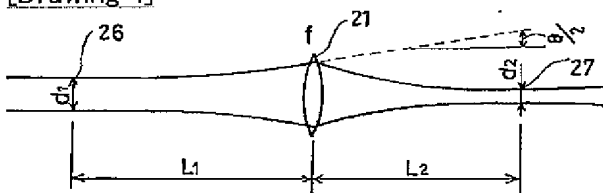
[Drawing 2]



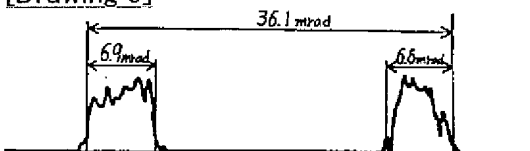
[Drawing 3]



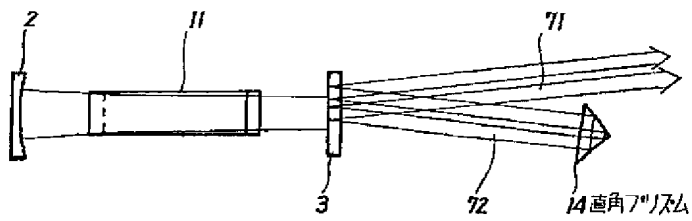
[Drawing 4]



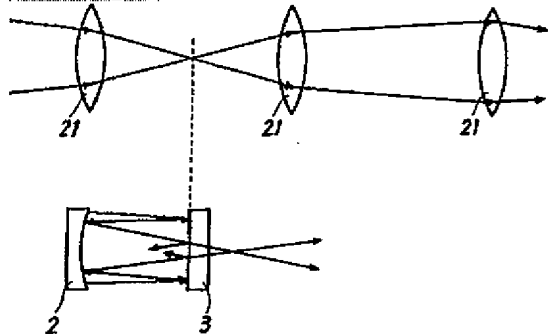
[Drawing 5]



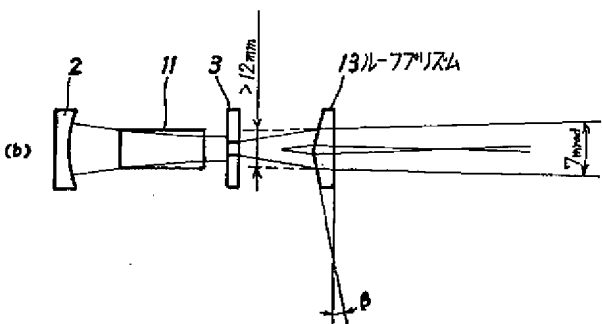
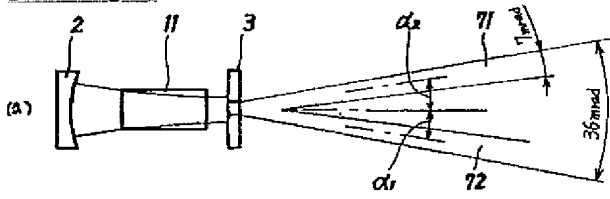
[Drawing 13]



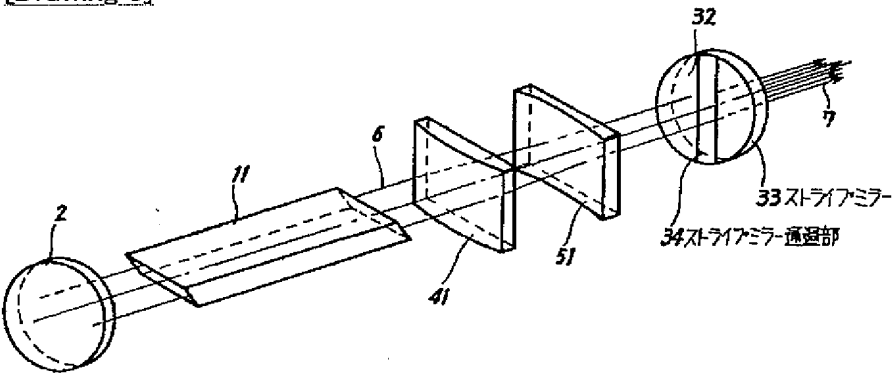
[Drawing 6]



[Drawing 7]

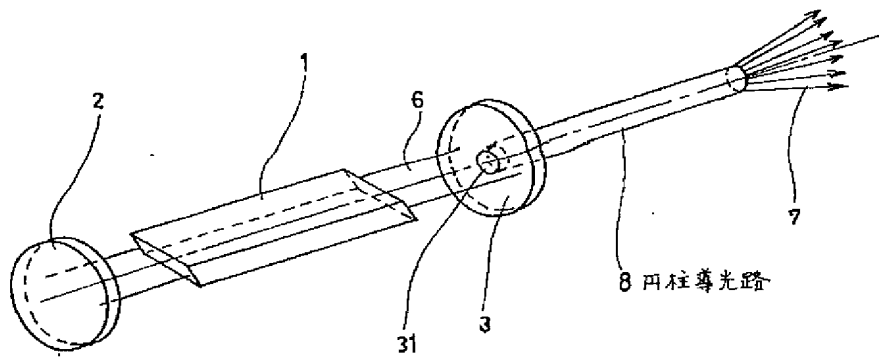


[Drawing 8]

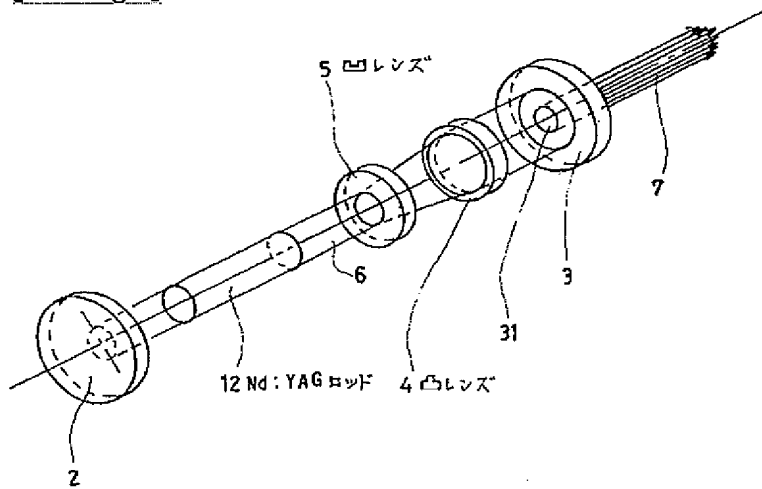


[Drawing 10]

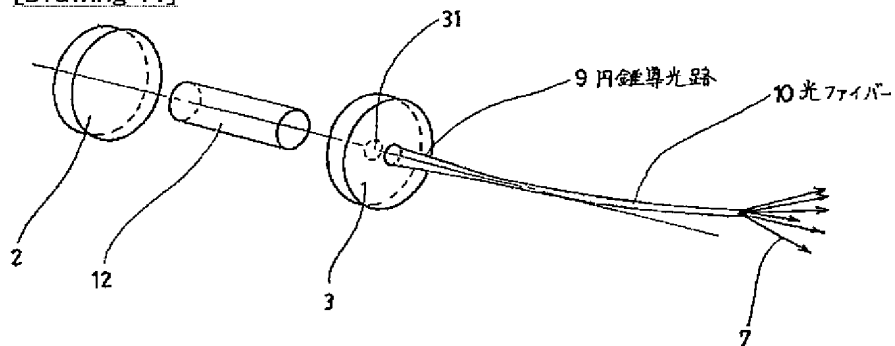




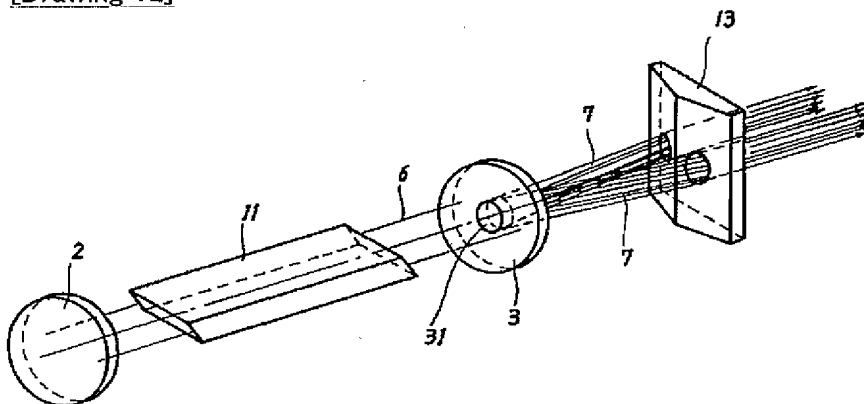
[Drawing 9]



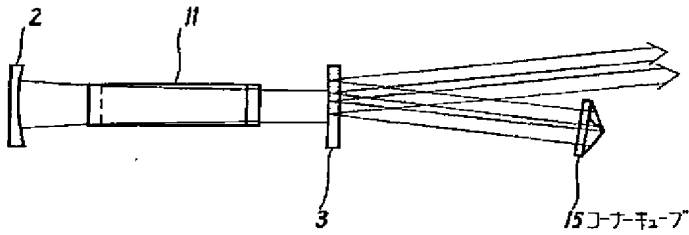
[Drawing 11]



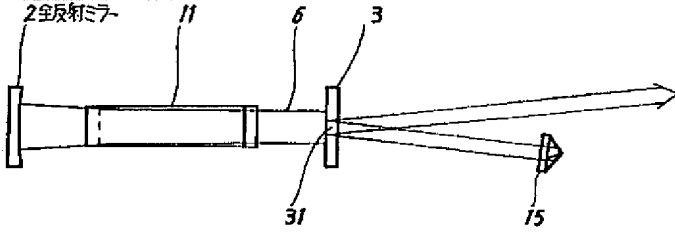
[Drawing 12]



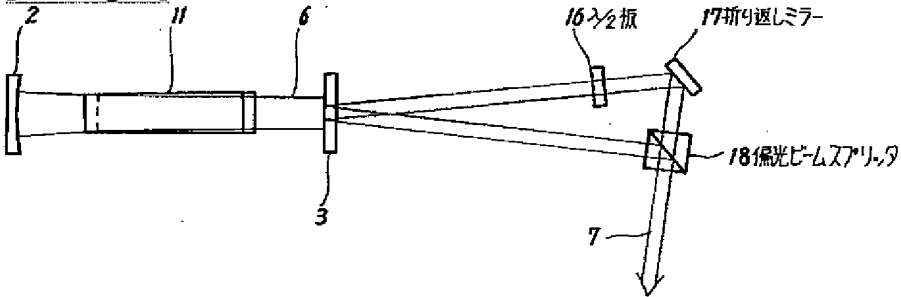
[Drawing 14]



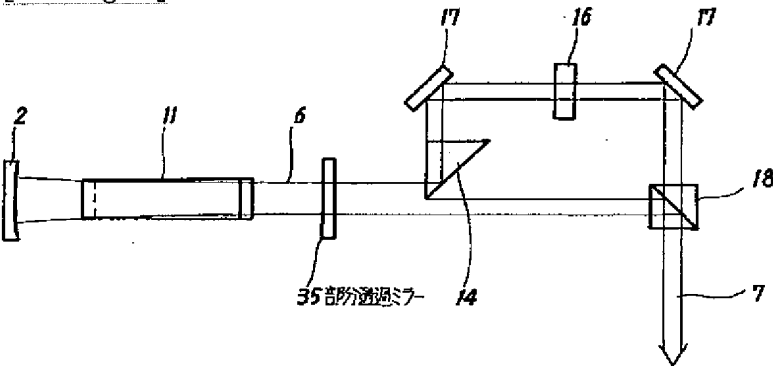
[Drawing 15]



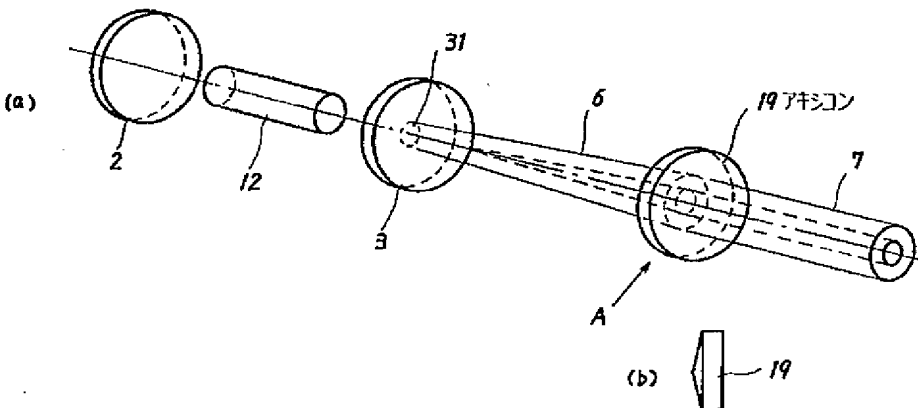
[Drawing 16]



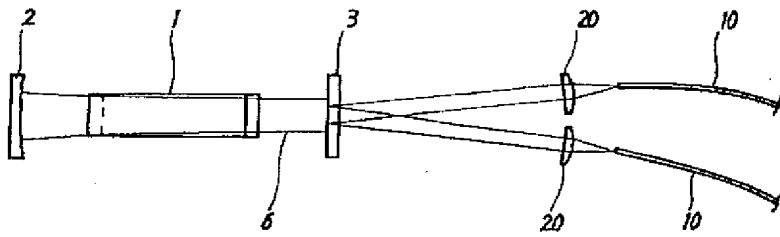
[Drawing 17]



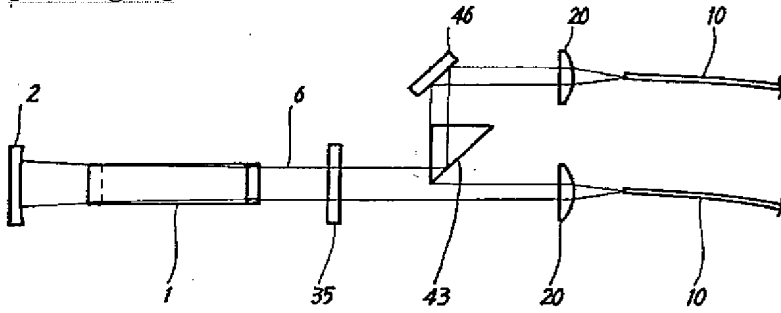
[Drawing 18]



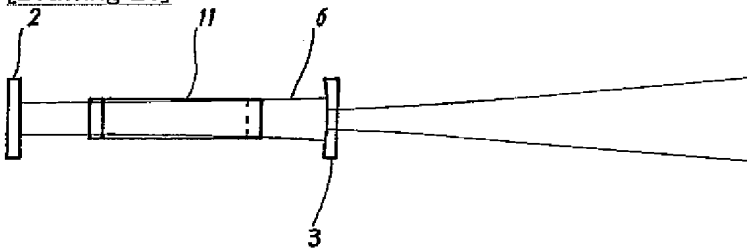
[Drawing 19]



[Drawing 20]



[Drawing 21]



[Translation done.]

(19)日本国特許庁(J P)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-204591

(43)公開日 平成6年(1994)7月22日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

H 0 1 S 3/08

識別記号

片内整理番号

F I

技術表示箇所

8934-4M

H 0 1 S 3/08

Z

審査請求 未請求 請求項の数21(全 14 頁)

(21)出願番号 特願平5-257369

(22)出願日 平成5年(1993)10月15日

(31)優先権主張番号 特願平4-277584

(32)優先日 平4(1992)10月16日

(33)優先権主張国 日本(J P)

(71)出願人 000005234

富士電機株式会社

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

(72)発明者 田沼 良平

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

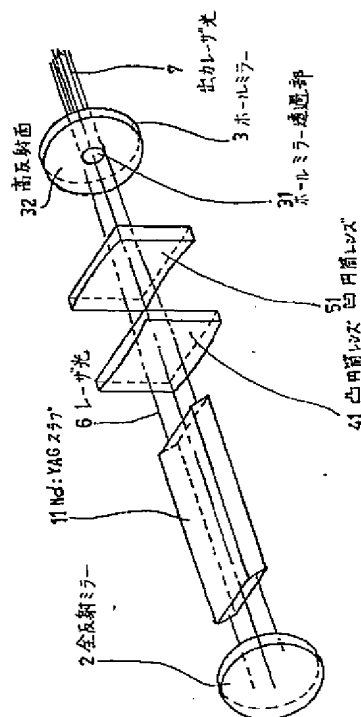
(74)代理人 弁理士 山口 巖

(54)【発明の名称】 固体レーザー装置

(57)【要約】

【目的】 レーザビームの広がり角 $\theta$ とビームウエストにおけるビーム径 $d$ との積 $\theta d$ を小さくして、高いエネルギー密度のレーザー光を得て加工性能を向上させる。

【構成】  $\theta d$ を小さくするために用いる微小ピンホールを有する出力ミラーのホール径を大きくした場合に未発振領域の形成による効率の低下を、中央部を低反射率面を有する透過部にすることにより防止し、安定に発振できる出力の範囲を、レーザー媒質と出力ミラー間にビームエキスパンダを介在させることにより広げる。また出力側に円柱導光路を用いてスラブレーザにおける集光スポットを円形にし、円錐状導光路を用いることにより出力レーザー光の光ファイバへの入光を容易にする。あるいは、ホールミラーを用いるスラブレーザで二つに分離されるビームは、それぞれの $\theta d$ が非常に小さいことも利用できる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】互いに対向して位置する全反射ミラーおよび出力ミラーの間に固体レーザー媒質が配置されるものにおいて、出力ミラーの中央部の所定の領域が低反射率、それ以外の部分が高反射率の表面を有し、レーザー媒質と出力ミラーの間にレーザー媒質の方向に向かってレーザー光が拡大されるビームエキスパンダが介在したことを特徴とする固体レーザー装置。

【請求項2】互いに対向して位置する全反射ミラーおよび出力ミラーの間に固体レーザー媒質が配置されるものにおいて、出力ミラーの中央部の所定の領域が低反射率、それ以外の部分が高反射率の表面を有し、レーザー媒質と出力ミラーの間に出力ミラーの方向に向かってレーザー光が拡大されるビームエキスパンダが介在したことを特徴とする固体レーザー装置。

【請求項3】互いに対向して位置する全反射ミラーおよび出力ミラーの間に、対向した一対の側面が光学研磨された平板状の固体レーザー媒質が配置され、レーザー光がレーザー媒質の前記の対向する光学研磨面で交互に全反射を繰り返して進むようにしたものにおいて、出力ミラーの中央部の所定の領域が低反射率、それ以外の部分が高反射率の表面を有し、出力ミラーの出力側に、その直径が概ね出力ミラーの低反射率領域の最短横断寸法と等しい円柱導光路が配設されたことを特徴とする固体レーザー装置。

【請求項4】互いに対向して位置する全反射ミラーおよび出力ミラーの間に固体レーザー媒質が配置されるものにおいて、出力ミラーの中央部の所定の円形領域が低反射率、それ以外の部分が高反射率の表面を有し、出力ミラーの出力側に、その光入射面の直径が概ね出力ミラーの低反射率領域の最短横断寸法と等しく、出力ミラーより遠ざかるにつれて直径の小さくなる円錐状導光路が配設されたことを特徴とする固体レーザー装置。

【請求項5】互いに対向して位置する全反射ミラーおよび出力ミラーの間に、対向した一対の側面が光学研磨された平板状の固体レーザー媒質が配置され、レーザー光がレーザー媒質の前記の対向する光学研磨面で交互に全反射を繰り返して進むようにしたものにおいて、出力ミラーの中央部を低反射率、それ以外の部分の部分を高反射率とするとともに、発振レーザー光のビームウエストを出力ミラー上に形成させ、共振器外に配置した補正光学系により、二つに分離して出力されるレーザー光ビームを平行に揃えることを特徴とする固体レーザー装置。

【請求項6】補正光学系が、屋根の稜線を分離された出力レーザー光ビームを含む面に対して垂直になるように配置した屋根状プリズムである請求項5記載の固体レーザー装置。

【請求項7】補正光学系が分離された出力レーザー光ビームの一方を反転させて戻し、出力ミラーの高反射率領域で再び反射させる直角プリズムである請求項5記載の固

体レーザー装置。

【請求項8】補正光学系が分離された出力レーザー光ビームの一方を反転させて戻し、出力ミラーの高反射率領域で再び反射させるコーナーキューブである請求項5記載の固体レーザー装置。

【請求項9】互いに対向して位置する全反射ミラーおよび出力ミラーの間に、対向した一対の側面が光学研磨された平板状の固体レーザー媒質が配置され、レーザー光がレーザー媒質の前記の対向する光学研磨面で交互に全反射を繰り返して進むようにしたものにおいて、出力ミラーの中央部の所定の領域が低反射率、それ以外の部分が高反射率の表面を有し、発振レーザー光のビームウエストを出力ミラー上に形成させ、二つに分離する出力レーザー光ビームのうち一方を反射させて出力ミラーの低反射率領域から再び共振器内に注入することを特徴とする固体レーザー装置。

【請求項10】出力レーザー光ビームの一方を直角プリズムで反射させる請求項9記載の固体レーザー装置。

【請求項11】出力レーザー光ビームの一方をコーナーキューブで反射させる請求項9記載の固体レーザー装置。

【請求項12】互いに対向して位置する全反射ミラーおよび出力ミラーの間に、対向した一対の側面が光学研磨された平板状の固体レーザー媒質が配置され、レーザー光がレーザー媒質の前記の対向する光学研磨面で交互に全反射を繰り返して進むようにしたものにおいて、出力ミラーの中央部の所定の領域が低反射率、それ以外の部分が高反射率の表面を有し、発振レーザー光のビームウエストを出力ミラー上に形成させ、かつ発振レーザー光を直線偏光とする手段と、二つに分離された出力レーザー光ビームをお互いの偏光面が直交する光に変換する手段と、偏光面変換後の二つのビームを重ねる手段とを有することを特徴とする固体レーザー装置。

【請求項13】互いに対向して位置する全反射ミラーおよび出力ミラーの間に、対向した一対の側面が光学研磨された平板状の固体レーザー媒質が配置され、レーザー光がレーザー媒質の前記の対向する光学研磨面で交互に全反射を繰り返して進むようにしたものにおいて、発振レーザー光を直線偏光とする手段と、出力レーザー光を平板幅方向に空間的に二つに分割する手段と、分割した出力レーザー光ビームをお互いの偏光面が直交する光に変換する手段と、偏光面変換後の二つのビームを重ねる手段とを有することを特徴とする固体レーザー装置。

【請求項14】互いに対向して位置する全反射ミラーおよび出力ミラーの間に円柱状の固体レーザー媒質が配置されたものにおいて、出力ミラーの中央部の所定の領域が低反射率、それ以外の部分が高反射率の表面を有し、発振レーザー光のビームウエストを出力ミラー上に形成させ、円錐状に拡がりつつ伝播する出力レーザー光を円筒状ビームに変換する手段を有することを特徴とする固体レーザー装置。

【請求項15】円錐レンズにより出力レーザー光を円筒状ビームに変換する請求項14記載の固体レーザー装置。

【請求項16】互いに対向して位置する全反射ミラーおよび出力ミラーの間に、対向した一对の側面が光学研磨された平板状の固体レーザー媒質が配置され、レーザー光がレーザー媒質の前記の対向する光学研磨面で交互に全反射を繰り返して進むようにしたものにおいて、出力ミラーの中央部の所定の領域が低反射率、それ以外の部分が高反射率の表面を有し、発振レーザー光のビームウエストを出力ミラー上に形成させ、二つに分離する出力レーザー光を別々の光ファイバに入光することを特徴とする固体レーザー装置。

【請求項17】互いに対向して位置する全反射ミラーおよび出力ミラーの間に、対向した一对の側面が光学研磨された平板状の固体レーザー媒質が配置され、レーザー光がレーザー媒質の前記の対向する光学研磨面で交互に全反射を繰り返して進むようにしたものにおいて、出力レーザー光を平板幅方向に空間的に二つに分割し、分割したレーザー光を別々の光ファイバに入光することを特徴とする固体レーザー装置。

【請求項18】互いに対向して位置する全反射ミラーおよび出力ミラーの間に固体レーザー媒質が配置されるものにおいて、出力ミラーの中央部の所定の領域が低反射率、それ以外の部分が高反射率の表面を有し、共振器内のビーム径が出力ミラー上で最大になる共振器構成とすることを特徴とする固体レーザー装置。

【請求項19】出力ミラーの低反射率領域が円形である請求項1ないし12、14ないし16および18のいずれかに記載の固体レーザー装置。

【請求項20】固体レーザー媒質が平板状であり、出力ミラーの低反射率領域が条状である請求項1、2、4、18のいずれかに記載の固体レーザー装置。

【請求項21】出力ミラーの低反射率領域が条状である請求項3、5、6、7、8、9、10、11、12および16のいずれかに記載の固体レーザー装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、全反射ミラーと出力ミラーの間に固体レーザー媒質が配置された固体レーザー装置に関する。

【0002】

【従来の技術】YAGレーザに代表される固体レーザは、小形で使いやすいことから、主にレーザ加工分野で多くの使用実績がある。また最近では計測、医学等の諸分野にも広く浸透するようになった。固体レーザの応用に当たって重要なことは、いかに集光性の高い、高品質の光が得るかということである。レーザ光の品質の尺度として一般に $\theta d$ が用いられる、ここで $\theta$ はビーム広がり角、 $d$ はビームウエストにおけるビーム径である。レンズによりレーザ光が変換されても $\theta d$ は保存される。

すなわち、レーザ光を凸レンズで集光した際の集光角を $\theta_i$ 、集光点のビームウエスト径を $d_i$ とすると、 $\theta d = \theta_i d_i$ が成り立つ。したがって、 $\theta_i$ を同じにとった場合、 $\theta d$ が小さいと $d_i$ が小さくなり、レーザ光を小さなスポットに集光できることになる。レーザ光を小さく絞ることが出来れば、高いエネルギー密度が得られて加工性能が向上する。またレーザ光を光ファイバで伝送する場合も直径の小さなものを使用できる。ファイバ径が小さければ出射光を小さなスポットに集光することができる。

【0003】 $\theta d$ を小さくするために通常用いられる方法としては、

- (a) 共振器長を大きくする
- (b) 共振器内にビームエキスパンダを挿入する
- (c) 不安定共振器を用いる
- (d) 固体レーザにおいて、板（スラブ）状のレーザ媒質を用いる
- (e) 出力ミラーに設けたピンホールからレーザ光を出力する。

等がある

【0004】

【発明が解決しようとする課題】図2に示すような焦点距離 $f$ のレンズ21をはさんで $a_1$ の距離をおく曲率半径 $R_1$ の全反射ミラー22と、 $a_2$ の距離をおく曲率半径 $R_2$ の出力ミラー23とが対向配置されている光共振器の安定性は、共振器パラメータ

$$g_1 = 1 - a_2 / f - a_0 / R_1$$

$$g_2 = 1 - a_1 / f - a_0 / R_2$$

で表すことができる。ここで

$$a_0 = a_1 + a_2 - a_1 a_2 / f$$

である。 $g_1$ 、 $g_2$ を用いると、レーザ光が共振器内に閉じこめられる条件は

$$0 < g_1 g_2 < 1 \quad \text{---(1)}$$

となる。また、 $g_1$ 、 $g_2$ が変化すると $\theta$ 、 $d$ も変化する。

【0005】通常用いられるロッド状のレーザ媒質を用いる装置では、温度がロッド中央部で高く、周辺部ほど低くなる。そのためレーザ媒質が一種の凸レンズ（熱レンズ）として作用することから、図2と同等の共振器構成となる。熱レンズの焦点距離 $f$ は入力エネルギーによって変化するため、レーザ出力によって共振器パラメータ $g_1$ 、 $g_2$ が変化する。 $g_1$ 、 $g_2$ が変化すると $\theta d$ が変化するばかりでなく、場合によっては式(1)の安定条件が満たされなくなり発振が困難になる。

【0006】 $\theta d$ を小さくするために、上記(a)により共振器長を大きくすると、 $a_1$ 、 $a_2$ が大きくなる。そのため $f$ のわずかな変化でも $g_1$ 、 $g_2$ が大きく変化するようになり、特定の条件でしか目標の性能が得られなくなる。(b)のビームエキスパンダを用いる方法は、共振器長を大きくするのと同様であるから、(a)の方式と

同様、目標の性能が得られる条件が限定されてしまう。  
(c) の不安定共振器を用いる方法は、 $\theta d$  を小さくする上で非常に有力な手段であるが、熱レンズ効果が大きい場合は、(a)、(b) と同様、限られた条件以外では高い性能が得られない。(d) は熱レンズ効果そのものを低減する方法であり、(a)、(b)、(c) とは根本的に異なる。しかしこの場合は、スラブ幅方向  $\theta d$  が大きいという問題がある。またビームが矩形で  $\theta d$  も方向によって異なることから、円形スポットに集光することが難しい。そのためレーザ切断の場合に、ビームの移動方向によって切断幅が異なるといった不都合が生じる。

【0007】(e) の出力ミラーに微小なピンホールを設ける方法は、主にゲインの小さいガスレーザに古くから用いられており、G. K. N. Patel et al、Appl. Phys. Lett、Vol. 4、No. 1 (1964) P18 にその例が開示されている。また D. E. McCumber、The Bell System Technical Journal、Vol. 44 (1965) P333 では、出力ミラーに穴がある場合の詳しい共振モード解析がなされている。穴（ホール）のある出力ミラーを用いる方式は通常の部分透過ミラーを用いた場合と  $\theta$  はほぼ等しいため、 $d$  が小さくなる分だけ  $\theta d$  を小さくすることができる。この場合、出力ミラーの透過率は、ピンホールの面積がビーム断面積に占める割合で与えられる。ところがこのことはピンホールの直径が小さいときのみ有効で、ピンホール径が大きくなるにしたがって、実効透過率をこのように見積もるやり方は成り立たなくなる。これは図3に示すように、レーザ媒質25に対して全反射ミラー2と反対側の出力ミラー24の穴径が大きくなると、レーザ媒質25の中央部付近ではレーザ発振が起きなくなるためである。したがって、実効透過率は上記の値より小さくなることになる。このため、最適透過率が大きいレーザでは目的の透過率を得ることが困難となり、高い効率が得られない。また発振しない部分ができること自体が効率低下の要因となる。以上のほか、固体レーザに共通するものとして、光ファイバへの入光に関する課題がある。上述のように、集光スポット径を光ファイバ径より小さくする条件は、 $\theta d$  をある目的の値より小さくすることで満たされる。しかしたとえこの条件が満たされたとしても、通常用いられる直径1mm以下の光ファイバにレーザ光を入射する場合、集光スポットをファイバ入射端に一致させるためには微妙な調節が必要で、そのための調節機構も複雑になるという問題がある。

【0008】本発明の第一の目的は、従来の固体レーザの上記の欠点を解決して、広い運転条件で  $\theta d$  の小さい高ビーム品質のレーザ発振が可能な固体レーザを提供することにある。本発明の第二の目的は、従来のスラブレーザの上記の欠点を解決して、円形集光ビームを得ることにある。本発明の第三の目的は、従来の固体レーザの上記の欠点を解決して、光ファイバに容易に入光できる固体レーザを提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記の第一の目的を達成するために、第一の本発明は、互いに対向して位置する全反射ミラーおよび出力ミラーの間に固体レーザ媒質が配置される固体レーザ装置において、出力ミラーの中央部の所定の領域が低反射率、それ以外の部分が高反射率の表面を有し、レーザ媒質と出力ミラーの間にレーザ媒質の方向に向かってレーザ光が拡大されるビームエキスパンダが介在したものとする。また第二の本発明は、互いに対向して位置する全反射ミラーおよび出力ミラーの間に固体レーザ媒質が配置されるものにおいて、出力ミラーの中央部の所定の領域が低反射率、それ以外の部分が高反射率の表面を有し、レーザ媒質と出力ミラーの間に出力ミラーの方向に向かってレーザ光が拡大されるビームエキスパンダが介在したものとする。

【0010】上記の第一および第二の目的を達成するために、第三の本発明は、互いに対向して位置する全反射ミラーおよび出力ミラーの間に、対向した一对の側面が光学研磨された平板状の固体レーザ媒質が配置され、レーザ光がレーザ媒質の対向する光学研磨面で交互に全反射を繰り返して進むようにした固体レーザ装置において、出力ミラーの中央部の所定の領域が低反射率、それ以外の部分が高反射率の表面を有し、出力ミラーの出力側に、その直径が概ね出力ミラーの低反射率領域の最短横断寸法と等しい円柱導光路が配設されたものとする。

【0011】上記の第一および第三の目的を達成するために、第四の本発明は、互いに対向して位置する全反射ミラーおよび出力ミラーの間に固体レーザ媒質が配置される固体レーザ装置において、出力ミラーの中央部の所定の円形領域が低反射率、それ以外の部分が高反射率の表面を有し、出力ミラーの出力側に、その光入射面の直径が概ね出力ミラーの低反射率領域の最短横断寸法と等しく、出力ミラーより遠ざかるにつれて直径の小さくなる円錐状導光路が配設されたものとする。

【0012】上記の第一の目的を達成するために、第五の本発明は、互いに対向して位置する全反射ミラーおよび出力ミラーの間に、対向した一对の側面が光学研磨された平板状の固体レーザ媒質が配置され、レーザ光がレーザ媒質の前記の対向する光学研磨面で交互に全反射を繰り返して進むようにした固体レーザ装置において、出力ミラーの中央部を低反射率、それ以外の部分の部分を高反射率とするとともに、発振レーザ光のビームウエストを出力ミラー上に形成させ、共振器外に配置した補正光学系により、二つに分離して出力されるレーザ光ビームを平行に揃えるものとする。補正光学系が、屋根の稜線で分離された出力レーザ光ビームを含む面に対して垂直にするように配置した屋根状プリズムであるか、分離された出力レーザ光ビームの一方を反転させて戻し、出力ミラーの高反射率領域で再び反射させる直角プリズムであるか、あるいは分離された出力レーザ光ビームの一

方を反転させて戻し、出力ミラーの高反射率領域で再び反射させるコーナーキューブであることが有効である。また、第六の本発明は、互いに対向して位置する全反射ミラーおよび出力ミラーの間に、対向した一对の側面が光学研磨された平板状の固体レーザ媒質が配置され、レーザ光がレーザ媒質の前記の対向する光学研磨面で交互に全反射を繰り返して進むようにした固体レーザ装置において、出力ミラーの中央部の所定の領域が低反射率、それ以外の部分が高反射率の表面を有し、発振レーザ光のビームウエストを出力ミラー上に形成させ、二つに分離する出力レーザ光ビームのうち一方を反射させて出力ミラーの低反射率領域から再び共振器内に注入するものとする。出力レーザ光ビームの一方を直角プリズムあるいはコーナーキューブで反射させることが良い。

【0013】上記の第一の目的を達成するために、さらに、第七の本発明は、互いに対向して位置する全反射ミラーおよび出力ミラーの間に、対向した一对の側面が光学研磨された平板状の固体レーザ媒質が配置され、レーザ光がレーザ媒質の前記の対向する光学研磨面で交互に全反射を繰り返して進むようにした固体レーザ装置において、出力ミラーの中央部の所定の領域が低反射率、それ以外の部分が高反射率の表面を有し、発振レーザ光のビームウエストを出力ミラー上に形成させ、かつ発振レーザ光を直線偏光とする手段と、二つに分離された出力レーザ光ビームをお互いの偏光面が直交する光に変換する手段と、偏光面変換後の二つのビームを重ねる手段とを有するものとする。また、第八の本発明は、互いに対向して位置する全反射ミラーおよび出力ミラーの間に、対向した一对の側面が光学研磨された平板状の固体レーザ媒質が配置され、レーザ光がレーザ媒質の前記の対向する光学研磨面で交互に全反射を繰り返して進むようにした固体レーザ装置において、発振レーザ光を直線偏光とする手段と、出力レーザ光を平板幅方向に空間的に二つに分割する手段と、分割した出力レーザ光ビームをお互いの偏光面が直交する光に変換する手段と、偏光面変換後の二つのビームを重ねる手段とを有する。

【0014】上記の第一の目的を達成するために、そのほかに、第九の本発明は、互いに対向して位置する全反射ミラーおよび出力ミラーの間に円柱状の固体レーザ媒質が配置された固体レーザ装置において、出力ミラーの中央部の所定の領域が低反射率、それ以外の部分が高反射率の表面を有し、発振レーザ光のビームウエストを出力ミラー上に形成させ、円錐状に拡がりつつ伝播する出力レーザ光を円筒状ビームに変換する手段を有するものとする。そして、円錐レンズにより出力レーザ光を円筒状ビームに変換することが有効である。第十の本発明は、互いに対向して位置する全反射ミラーおよび出力ミラーの間に、対向した一对の側面が光学研磨された平板状の固体レーザ媒質が配置され、レーザ光がレーザ媒質の前記の対向する光学研磨面で交互に全反射を繰り返して

て進むようにした固体レーザ装置において、出力ミラーの中央部の所定の領域が低反射率、それ以外の部分が高反射率の表面を有し、発振レーザ光のビームウエストを出力ミラー上に形成させ、二つに分離する出力レーザ光を別々の光ファイバに入光するものとする。第十一の本発明は、互いに対向して位置する全反射ミラーおよび出力ミラーの間に、対向した一对の側面が光学研磨された平板状の固体レーザ媒質が配置され、レーザ光がレーザ媒質の前記の対向する光学研磨面で交互に全反射を繰り返して進むようにした固体レーザ装置において、出力レーザ光を平板幅方向に空間的に二つに分割し、分割したレーザ光を別々の光ファイバに入光するものとする。第十二の本発明は、互いに対向して位置する全反射ミラーおよび出力ミラーの間に固体レーザ媒質が配置される固体レーザ装置において、出力ミラーの中央部の所定の領域が低反射率、それ以外の部分が高反射率の表面を有し、共振器内のビーム径が出力ミラー上で最大になる共振器構成とするものとする。出力ミラーの低反射率領域は円形であるか、もしくは固体レーザ媒質が平板状の場合は条状であることが良い。

#### 【0015】

【作用】ホールミラーを出力ミラーに用いると出力ミラーの実効透過率が低下する問題を、本発明者は、穴の部分に僅かに反射率を持たせることにより解決できると考えた。具体的には、実際の穴を用いるのではなく、穴に相当する部分を高透過率とし、その他の部分を高反射率とするようなコーティングを施すことでこのようなミラーを容易に製作することができる。穴の部分が僅かに反射率を持つと、共振器内を往復するレーザ光が穴に当たったあとに僅かに残るため、レーザ媒質の全体を占めるモードが常に形成されて、未発振領域の形成による効率低下を防止することができる。さらに本発明者は、この方式にビームエキスパンダを組み合わせることで、レーザの性能を格段に向上できると考えた。

【0016】第一発明は、ビームエキスパンダを出力ミラーの方向に向かってビームを縮小するように配置するものである。共振器内ビームエキスパンダにより、出力ミラー直前でビーム径を縮小することにより、穴径を小さくしてなおかつ実効透過率を高くすることが可能である。ビームエキスパンダをこのように配置する方法は、上記従来技術の(b)に相当し、ビームエキスパンダの拡大倍率を大きくするほど安定発振領域が狭められる。しかし本発明によれば、ホールミラーで $\theta d$ を小さくできる分だけ拡大率を小さく設定できるため、安定領域が広くなり、広い運転条件で目標の性能を達成することが可能となる。

【0017】第二発明は、共振器内ビームエキスパンダを、出力ミラーの方向に向かってビームを拡大するように配置する方法である。既に説明した通り、 $\theta d$ はレンズの前後で変化しないため、このような配置でビームを



拡大すると出力されるレーザ光の $\theta$ は小さくなる。もちろん $d$ は大きくなるため、通常の出力ミラーでは $\theta d$ を小さくすることはできない。しかし本発明によりホールミラーを用いることによって、 $\theta d$ の小さなレーザ光を出力することができる。ビームエキスパンダをこのような配置は上記従来技術(b)とは逆である。従って、安定領域を拡大しなおかつ $\theta d$ を小さくすることができること\*

$$1/d_2^2 = 1/d_1^2 (1 - L_1/f)^2 - (1/f\theta)^2 \quad (2)$$

ここで $\theta$ はレンズの左側におけるビーム広がり角である。一般に広く用いられる出力ミラーを平面ミラーとする共振器構成では第一のビームウエストは出力ミラー上に形成される。

※

$$d_2 \approx d_1 / [1 - (L_1/f)] \quad (3)$$

となるため、 $d_2$ を小さくするためには $d_1$ が小さければよい。したがってこの場合は第一発明が適している。

【0020】一方、集光レンズを出力ミラーの近くに置く場合で、特に $L_1$ が $f$ に近い場合は式(2)の第1項が無視できて、

$$d_2 \approx f\theta \quad (4)$$

となり第二発明が適することになる。式(3)が成り立つ場合は、 $\theta$ は直接 $d_2$ に影響しない。しかし $\theta$ が大きいと集光レンズに到達するレーザ光のビーム径が大きくなるため、大口径のレンズが必要になることと、集光角が大きくなる点で都合が悪い。すなわちこの場合でも $\theta$ も同様に小さい方が望ましいことには変わりがない。これに対し、式(4)が成り立つ場合は $d_2$ は $\theta$ のみで決まるが、 $d_1$ が大きければ、この場合も大口径レンズが必要になる。すなわちいずれの集光方式も $\theta d$ を小さくすることが重要である点では同様であるが、レンズの配置によって2方式を使い分けることが望ましい。

【0021】第三発明は、ホールミラーを用いるスラブレーザにおいて、出力ミラーに密着して、透過部とほぼ直径が等しい円柱導光路を配設することにより、レーザ光が円柱側面で全反射を繰り返すうちに均一化され、導光路出力光は円形ビームとなる。また $\theta d$ も均一化されるため、集光ビーム断面も円形になる。第四発明は、ホールミラーを用いる固体レーザにおいて、出力ミラーに密着して底面の直径が透過部のほぼ等しい円錐導光路を配設し、導光路出口に光ファイバを接続するものである。円錐導光路は、例えば、I.K.IlevらによりOptical and Quantum Electronics、Vol.23(1991)P101に開示されている。この発明によれば、ホールミラーから出力されたレーザ光は円錐側面で全反射を繰り返しながら目的の径まで集光され、光ファイバに入光される。この場合、集光されるにしたがって $\theta$ は大きくなるが、 $\theta d$ は保存されるため、ホールミラー出射時点で目的の $\theta d$ が保証されていればファイバ入光が可能になる。通常の大口径レーザ光を円錐導光路のみでファイバ径まで集光するためには、導光路が大形になり、事実上採用が困難であるが、ホールミラーを用いることにより、小形円錐導

\*とになる。

【0018】これら二つの方式は出力ミラーと集光レンズとの距離によって使い分けるのがよい。図4に示すように、ビーム径 $d_1$ の第一のビームウエスト26から距離 $L_1$ の所に焦点距離 $f$ の凸レンズ21を置いて光を集光し、レンズから距離 $L_2$ の所に径 $d_2$ の第二のビームウエスト27を形成する場合、次式が成り立つ。

※【0019】はじめに、集光レンズを出力ミラーから距離を離して置く場合で、 $L_1$ が大きくと式(2)の第2項が無視できる場合を考える。この場合、

光路が使用できて、この方式によるファイバ入光が可能になる。

【0022】第五、第六、第七、第九、第十発明は、ホールミラーを用いるスラブレーザにおいて、ビームウエストを出力ミラー上に形成させる共振器構成では、出力レーザ光が二つのビームに分離することを利用する。このような共振器構成は、ホールミラーを平面、全反射ミラーを凹面とすることにより可能である。図5は、発明者がこの形式の、透過部の直径 $\phi 6\text{mm}$ のホールミラーを用いたスラブレーザで測定した出力レーザ光の透視野像(FFP)である。この結果は出力光が二つに分離し、また全体の $\theta$ は $36\text{mrad}$ と大きいのに対し、それぞれのビームの $\theta$ は $7\text{mrad}$ 以下と非常に小さいことを示している。

【0023】この現象は、図6に示すように、ホールミラー共振器と凸レンズ21の列との比較で説明できる。ホールミラーを用いた場合、傾きの大きな光線だけが透過する。そして、出力ミラーの実効透過率は、共振器内のビーム断面積とホール部の面積との比で概略決定される。それ故、実効透過率は中心部で共振する低次モードに対しては大きく、高次モードほど小さいことになる。したがって、ホールミラー共振器においては、ほとんど最高次のモードのみが発振することになる。

【0024】最高次モードとは、レンズ列においては全幅にわたって振動して進む光線に相当する。図6から明らかなように、この光線は中心を横切る時その傾きが最大になる。つまりホールミラー共振器においては、スラブで規制される領域全体を巡る光線が、傾きが最大になる時にホール部に命中し外部に取り出される。すなわち、ホールミラーは $d$ を規制するだけでなく、特定の傾きの光線を選択して出力する機能も果たしていることになる。

【0025】今までの考え方では、この場合の $\theta$ は $36\text{mrad}$ であり、 $\theta d = 36 \times 6 = 216\text{mm mrad}$ となる。しかし、本来輝度の尺度(輝度 $\propto 1/\theta d$ )としての $\theta d$ を考える場合、 $\theta$ は発散する光が占める角度であるから、中央の欠損部分は除外して考えるべきである。すなわち実効 $\theta d = 7 \times 2 \times 6 = 84\text{mm mrad}$ となる。しかし、出力ミ

11

ラーの近くに集光レンズを置く場合は、式(4)で決まる集光径は全体の $\theta$ で決まるから、出力光の中央部分に欠損があることの利点は生かされない。一方、集光レンズを離して、式(3)が適用される領域で光を集光する場合も、出力光が二つに分離すると集光レンズを出力ミラーから十分離すことができないため、集光スポット径を小さく出来ない。

【0026】第五発明により、図7(a)に示したように分離して進む光71、72を図7(b)に示すようにループプリズム13で平行に補正すると、全体の $\theta$ を最小7mradとすることができ、 $d$ は最小12mmとなる。これにより $\theta d$ は最小84mm mradとなり、上記の実効 $\theta d$ と一致する。第六発明は、分離する出力光の一方をコーナークューブ等で折り返し、出力ミラーホール部から再び共振器内に注入するものである。これにより $d$ は最小6mmとなるため、 $\theta d$ を最小42mm mradとすることが出来る。

【0027】第七発明では、第五、第六発明と同様の共振器において、レーザ光を直線偏光として発振させた上で、2本に分離したビームの一方の偏光面を $90^\circ$ 回転させて両者を重ねる。これにより、 $\theta d$ は第六発明と同様42mm mradとなる。第八発明では、ホールミラーを用いない通常のスラブレーザにおいて、レーザ光を直線偏光で発振させ、出力レーザ光をスラブ幅方向に二つに分離して、分離した光の一方の偏光面を $90^\circ$ 回転させるなどした後、一方を他方に重ね合わせる。これにより $\theta d$ を出力光の $\theta d$ の $1/2$ にすることが出来る。

【0028】第九発明は、ホールミラーをロッド型固体レーザに適用したものである。ロッド型レーザでホールミラーを用いると、スラブレーザにおいて出力光が2本に分離するのと同じ原理により、レーザ光は中心部が欠落した円錐状の光として出力される。そこで第五発明と同様の考え方により、この円錐状の光を円錐レンズ（アキシコン）等で円筒状の光に変換して全体の拡がり角を小さくする。

【0029】第十発明は、レーザ光を二つの光ファイバに入光する際適用される。上述のごとくホールミラーを用いたスラブレーザにおいては、出力光が二つに分離してそれぞれの $\theta d$ が非常に小さい。したがって、これらを別の光ファイバに入光することによって、入光条件に余裕ができて調整も容易になる。また、より細径の光ファイバを用いることができる。

【0030】第十一発明は、レーザ光を二つ以上の光ファイバに入光する際適用される。スラブレーザはスラブ幅方向の $\theta d$ は大きい、スラブ厚み方向の $\theta d$ は小さい。そこで出力ミラーの近傍で、レーザ光ビームをスラブ幅方向に、空間的に複数のビームに分割することによって $d$ を $1/[\text{分割数}]$ に縮小し、縦横とも $\theta d$ の小さなレーザ光を得ることができる。同様にレーザ光ビームを出力ミラーから離れた地点で分割すると $\theta$ を縮小することができる。すなわち本発明によれば、ビーム分割の

12

地点によらず、 $\theta d$ が元の $1/[\text{分割数}]$ の複数のレーザ光ビームを得ることができる。これらの光をそれぞれ別の光ファイバに入光することにより入光条件に余裕ができて調整も容易になる。また、より細径の光ファイバを用いることができる。

【0031】第十二発明は、上述のホールミラー上にビームウエストを形成させる方式と異なり、共振器内のレーザ光の径が大きくなる位置にホールミラーを置く。この方法は、図6のホールミラー共振器の凹面ミラー2側をホールミラーとする場合に相当する。ホール部を通過する光の傾きは、ビームウエストから離れるほど小さくなるため、この配置では全体のビーム拡がり角は、ビームウエスト上にホールミラーを置く場合より小さくなる。したがってこの方式は、ビームを分離する目的に適さないが、ホールミラーからの出力光をそのまま用いる場合は使いやすい方式である。

【0032】

【実施例】以下、各図に共通な部分に同一の符号を付した図を引用して本発明の実施例について説明する。図1は第一発明をスラブ型Nd:YAGレーザに適用した実施例である。スラブレーザは、スラブ厚み方向の $\theta d$ は非常に小さいため、ここではスラブ幅方向の $\theta d$ のみを改善する目的で本発明を適用した。図中、Nd:YAGスラブ11の一侧に全反射ミラー2、他側に出力ミラーとして中央部に低反射率の透過部31を有するホールミラー3が配置され、スラブ11と出力ミラー3の間に凸凹筒レンズ41、凹凹筒レンズ51を介在させてスラブの方向に向かってレーザ光を拡大するビームエキスパンドを形成している。ホールミラー3はガラス基体の表面の周辺部32にコーティングにより高反射面を形成し、残った中央部を透過部31とする。透過部31の直径は実効透過率が最適となるように、例えば6mmに決められた。スラブ11から出て出力ミラー3に向かう光は、円筒レンズ41および51で構成されるビームエキスパンドでビーム幅を縮小された後、ホールミラー3に達する。縮小後のレーザ光6の断面の縦横がいずれも透過部31の直径より大きい場合は、出力ミラー直後の出力レーザ光7の断面形状、すなわち近視野像NFPは円形となる。しかしビーム断面方向の $\theta$ の分布が矩形であるため、出力ミラーから十分離れた地点での断面形状、すなわち遠視野像FFPは矩形となる。出力ミラー3に当たるレーザ光断面の縦横いずれかが透過部31の直径より小さい場合は、NFPの一部に矩形の平行部分が現れる。

【0033】図8は、第一発明の別の実施例である。これは図1と同様の構造を有しているが、出力ミラーに帯状の透過部34を有するストライプミラー33を用いている点異なる。スラブレーザのスラブ厚み方向の $\theta d$ は元来小さいため、幅方向の $\theta d$ のみを改善するだけで十分な場合が多い。そこでこの例のように、スラブレーザにおいては、ホールミラーの代わりにスラブ幅方向のビー

ム幅だけを制限するスラライブミラーを用いることができる。このことは以下でスラブレーザに関するすべての実施例に言えることである。

【0034】図9は第二発明をロッド型Nd:YAGレーザに適用した例で、Nd:YAGロッド12とホールミラー3の間に、ロッドに近い方に凹レンズ5、出力ミラーに近い方に凸レンズ4を配置して、出力ミラー3の方に向かってレーザ光6を拡大するビームエキスパンダを形成している。この場合は、NFP、FFPのいずれも円形である。この実施例のホールミラー3の透過部31の直径は、例えば4〜5mmにした。

【0035】図10は第三発明のスラブ型Nd:YAGレーザ11を用いた実施例であり、ホールミラー3の背後にホールミラー3の透過部31の直径とほぼ等しい直径をもつ円柱導光路8が配置されている。円柱導光路8には、ここでは側面が光学的に十分に平坦なガラスロッドを用いている。この実施例ではホールミラー3から出たレーザ光は円柱導光路8に入り、ほとんどの方向成分が側面で数回全反射した後、終端から出力光7として取り出される。このようにして導光路内で光の方向が混合されるため、出力光7のNFPとFFPはいずれも円形となる。したがって出力光をレンズで集光すると円形集光ビームが得られる。また導光路8通過により $\theta_d$ は保存されるため、出力光7の $\theta_d$ は、導光路入射光の $\theta_d$ の最大値を越えることはない。

【0036】図11は第四発明のロッド型Nd:YAGレーザ12を用いた実施例であり、ホールミラー3の背後に円錐導光路9が配置され、光伝送用光ファイバ10に連続的につながっている。ホールミラー3から出たレーザ光は、直接円錐導光路9に導入され、光ファイバ10内に導かれる。この場合も $\theta_d$ は保存されるから、ファイバ10端から出力される光7の $\theta_d$ はホールミラー出力光の $\theta_d$ に等しい。

【0037】以上の実施例以外に、第一発明をロッドレーザに、第二発明をスラブレーザに適用することももちろん可能である。また第三、第四発明の実施例に第一、第二発明によるビームエキスパンダを追加することも可能である。図12は、第五発明の第一の実施例である。この実施例では、図7(b)に示したのと同様、二つに分離した出力光ビーム7をループプリズム13で平行光に補正している。しかし、図12の実施例では、全体のビーム拡がり角に応じて図7に示したループプリズムの傾斜角 $\beta$ を変更する必要がある。そのため $\beta$ の異なる数種類のプリズム13を用意しておいて、必要に応じて最適なものを選定するようなことが必要になる。また拡がり角が出力に依存して変化するような場合は、特定の条件で最適なループプリズムを選定したとしても、運転条件が変化すると最適条件が満たされなくなって、補正後の $\theta$ が大きくなってしまふ。図13は第五発明の第二の実施例はこの問題を解決するものである。本発明者は、図7(a)に示

すように、分離する出力71、72が中心線と成す角度を $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ とすると、 $\alpha_1 = \alpha_2$ となる点に着目した。発振レーザ光の波面は出力ミラー面と平行になるということから帰結される。このことを利用すると、図13に示すように、直角プリズム14で分離ビームの一方72を折り返し、ホールミラー3の高反射率部分で反射させることにより、自動的に二つのビームを平行にすることができる。この方式によれば、ビーム拡がり角に応じてプリズムを取り替えるようなことは不要となる。

【0038】図14は、第五発明の第三の実施例である。この実施例では図13の直角プリズム14の代わりにコーナーキューブ15を用いている。コーナーキューブ15は設置角度によらず、光が必ず平行に折り返されるため、直角プリズム14を用いるより調整が容易である。図15は、第六発明の実施例である。この例では、二つに分離する光の一方を、コーナーキューブ15で折り返し、ホールミラー透過部31から再びレーザ共振器内に光を注入している。この際、折り返した光の全てを共振器内に再注入することはできないが、ホールミラー透過部31をはみ出して反射される光は、第五発明に関連して説明したように、もう一方の光と平行に反射されるから、結局単一のレーザ光ビームを得ることができて、 $\theta_d$ は第五発明による装置の約1/2とすることができる。この場合、図13に示した第五発明の実施例のように、直角プリズム14でレーザ光を折り返すことももちろん可能である。

【0039】図16は、第七発明の実施例である。この実施例では、Nd:YAGスラブ11のレーザ光入射端面が、入射角をブリュースタ角とするようにカットされている。ブリュースタ角入射では、S偏光成分(偏光面は紙面に平行)が入射面で損失を受けるのにはたいし、P偏光成分(偏光面は紙面に垂直)は損失が零となる。したがって出力レーザ光6は事実上P偏光成分のみの直線偏光となる。この実施例では、2本に分離したレーザ光の一方を $\lambda/2$ 板16に通して偏光面を90°回転し、折り返しミラー17を経て偏光ビームスプリッタ18に入射する。この偏光ビームスプリッタ16は、P偏光(スプリッタに対してはS偏光)を反射してS偏光(スプリッタに対してはP偏光)を通過する。したがって、図に示すように、二つのビームは重なって1本のレーザ光7となり、このレーザ光7は楕円偏光となる。第七発明によれば、第六発明と同程度の $\theta_d$ を得ることができる。

【0040】図17は、第八発明の実施例である。この実施例では、出力ミラーとして通常の部分透過ミラー35を用い、図16に示した第七発明と同様の原理により、P偏光レーザ光を出力する。図に示したように、出力ビームの概略1/2をプリズム14で分割して取り出す。取り出されたビームは二つの折り返しミラー17で形成された迂回路を通過し、その途中に挿入された $\lambda/2$ 板16で偏光面が90°回転する。二つのビームは、第七発明と同様の原理により、1本のレーザ光7に合成されて、スラブ幅

方向の $\theta d$ は元の $1/2$ となる。

【0041】図18(a)、(b)は、第九発明の実施例である。ロッド型固体レーザ12にホールミラー3を用いたこの発明では、出力光6は円錐状に広がる。全体の拡がり角は大きい、コーンの厚み方向の拡がり角は小さいため、図(b)にA矢視側面図で示すアキシコン(円錐レンズ)19によって円筒ビームに変換することにより、全体の拡がり角の小さなビームを得ることができ、図12に示した第五発明と同様の原理により、 $\theta d$ の小さなレーザ光を得ることができる。

【0042】図19は、第十発明の実施例である。ホールミラー3を用いたスラブレーザにおいて、二つに分離する出力光6を、集光レンズ20で別々の光ファイバ10に入光する。この実施例では、上述のようにそれぞれのビームの $\theta d$ は極めて小さいため、ファイバ入光条件に余裕があり、入光の調整が容易である。図20は、第十一発明の実施例である。この実施例では、出力ミラーとして通常の部分透過ミラー35を用い、図17で用いた方法により、 $\theta d$ が元の $1/2$ の二つのビームを得ている。それぞれのビームは集光レンズ20で別々の光ファイバ10に入光させる。この実施例でも、ファイバ入光条件に余裕があり、入光の調整が容易である。

【0043】図21は、第十二発明をスラブレーザに適用した例である。この実施例は上述のホールミラー方式と異なり、全反射ミラー2として平面ミラー、ホールミラー3として凹面ミラーを用いている。この実施例は、平面ホールミラーを用いる方式より全体のビーム拡がり角が小さくなるため、単一ビーム化を行わず、出力ビームをそのまま用いる目的に適した構成である。

【0044】なお、この第十二発明は、図8に示した実施例と同様、ロッド型固体レーザにも適用することができる。

#### 【0045】

【発明の効果】第八、第十一発明を除き、各発明によれば、 $\theta d$ を小さくするための出力ミラーとしてのホールミラーの透過部を、穴ではなく僅かな反射率を持つ高透過率部とすることにより、ホール径の大きい場合の固体レーザでの未発振領域の形成による効率低下を防止するものである。

【0046】第一、第二、第五、第六、第八、第九、第十二発明によれば、従来の固体レーザでは $\theta d$ を小さくしようとすると安定に発振できる出力の範囲が狭められるという問題を解決し、広い出力範囲で $\theta d$ の小さなレーザ光を出力する固体レーザ装置を得ることができる。第三発明によれば、従来のスラブレーザでは、FFPが矩形になるため集光スポットを円形にすることが困難であるという問題を解決し、容易に円形集光断面が得られるスラブレーザ装置を得ることができる。

【0047】第四、第十、第十一発明によれば、従来の固体レーザでは光ファイバにレーザ光を注入するための

調整が難しく、調整機構も複雑になるという問題点を解決して、光ファイバ入光が極めて容易な固体レーザ装置を得ることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】第一発明の一実施例の固体レーザ装置の斜視図

【図2】熱レンズ効果の説明図

【図3】穴径の大きなピンホールミラーにおける発振状態を示す断面図

【図4】凸レンズとビームウエストの関係の説明図

10 【図5】ホールミラー型スラブレーザの遠視野像の測定結果を示す線図

【図6】ホールミラー型スラブレーザの出力光が二つに分離する現象の説明図

【図7】分離ビームを平行に補正する方法を(a)の補正しない場合と比較して(b)に示す説明図

【図8】第一発明の別の実施例の固体レーザ装置の斜視図

【図9】第二発明の一実施例の固体レーザ装置の斜視図

【図10】第三発明の一実施例の固体レーザ装置の斜視図

20 【図11】第四発明の一実施例の固体レーザ装置の斜視図

【図12】第五発明の第一の実施例の固体レーザ装置の斜視図

【図13】第五発明の第二の実施例の固体レーザ装置の正面図

【図14】第五発明の第三の実施例の固体レーザ装置の正面図

【図15】第六発明の一実施例の固体レーザ装置の正面図

【図16】第七発明の一実施例の固体レーザ装置の正面図

【図17】第八発明の一実施例の固体レーザ装置の正面図

30 【図18】第九発明の一実施例の固体レーザ装置を示し、(a)は斜視図、(b)は(a)の矢視側面図

【図19】第十発明の一実施例の固体レーザ装置の正面図

【図20】第十一発明の一実施例の固体レーザ装置の正面図

【図21】第十二発明の一実施例の固体レーザ装置の正面図

#### 【符号の説明】

11 Nd:YAGスラブ

12 Nd:YAGロッド

2 全反射ミラー

3 ホールミラー

31 ホールミラー透過部

32 高反射面

33 ストライプミラー

34 ストライプミラー透過部

35 部分透過ミラー

4 凸レンズ

41 凸円筒レンズ

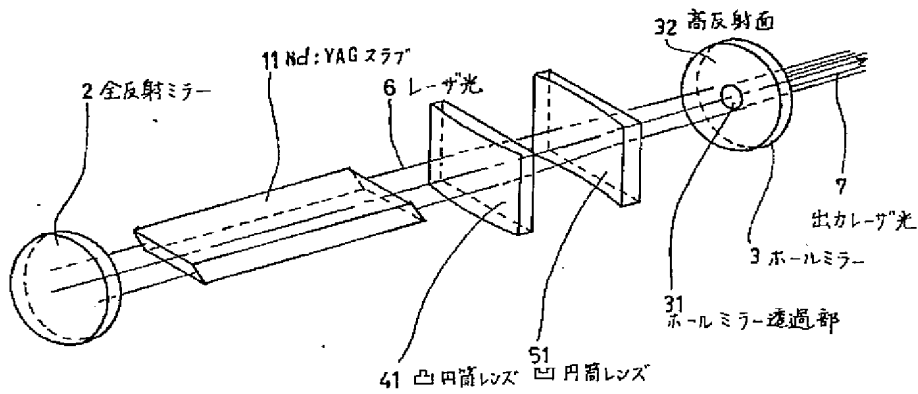
5 凹レンズ

50 51 凹円筒レンズ

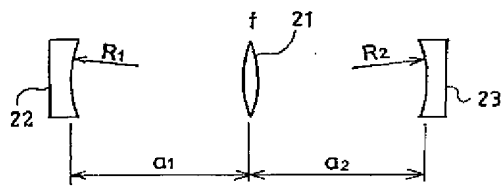
- 17
- 6 レーザ光  
7 出力レーザー光  
8 円柱導光路  
9 円錐導光路  
10 光ファイバ  
13 ルーフプリズム  
14 直角プリズム

- 18
- 15 コーナーキューブ  
16  $\lambda/2$ 板  
17 折り返しミラー  
18 偏光ビームスプリッタ  
19 アキシコン  
20 集光レンズ

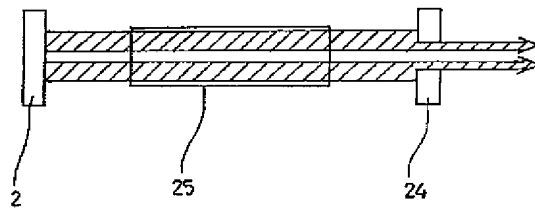
【図1】



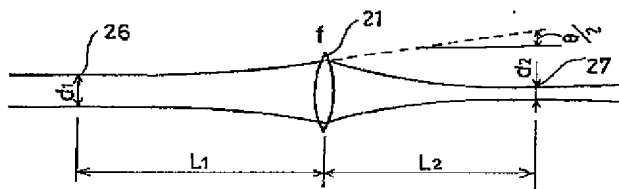
【図2】



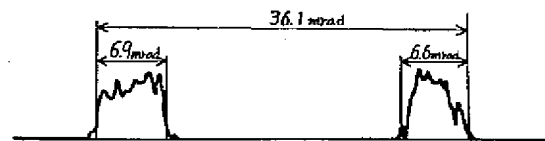
【図3】



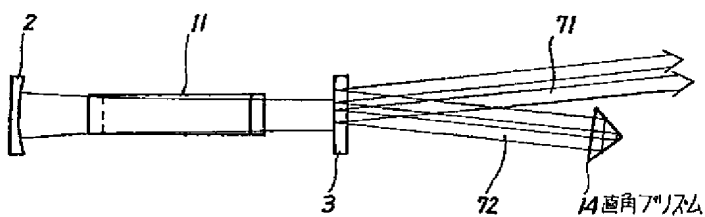
【図4】



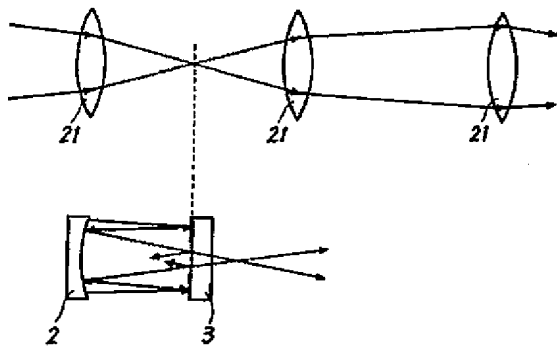
【図5】



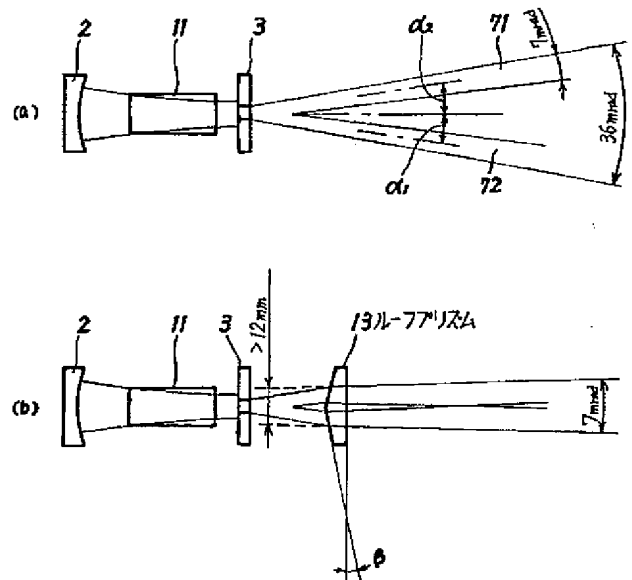
【図13】



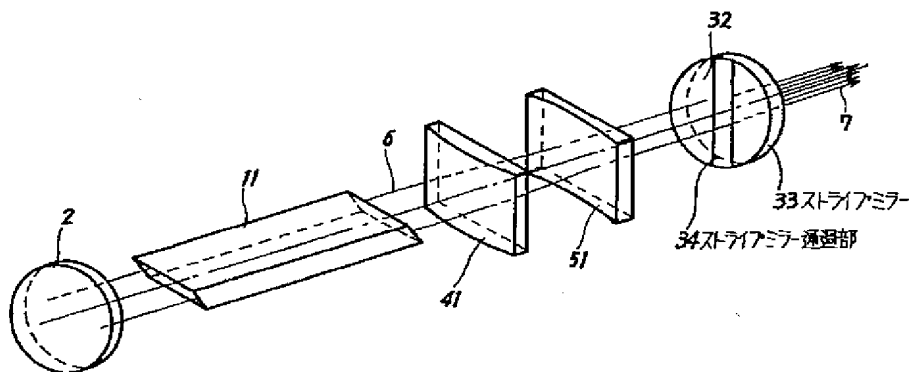
【図6】



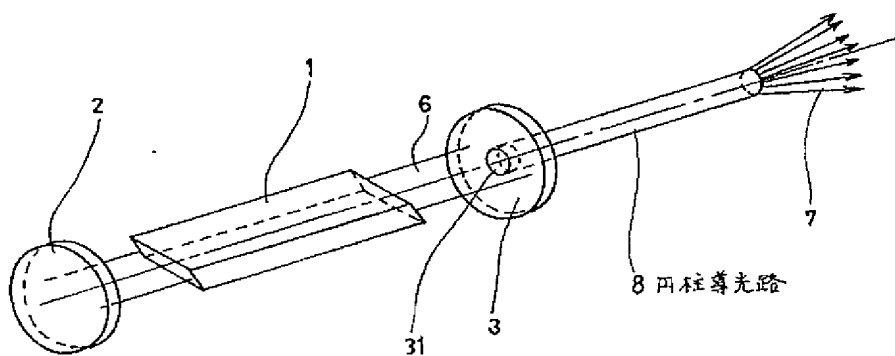
【図7】



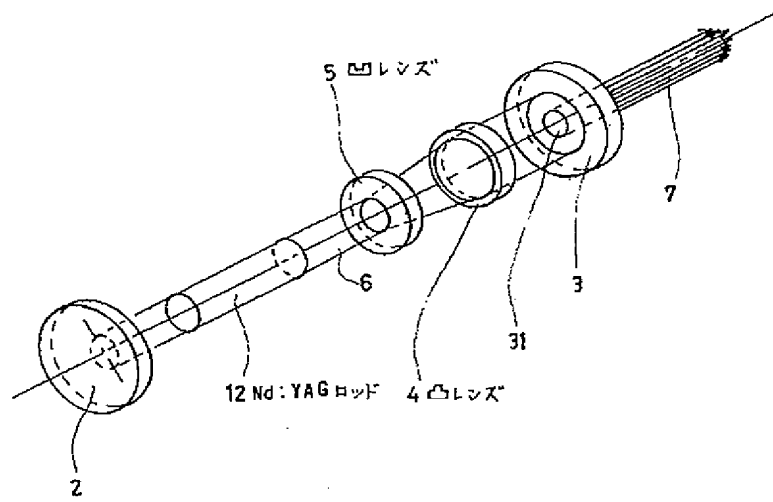
【図8】



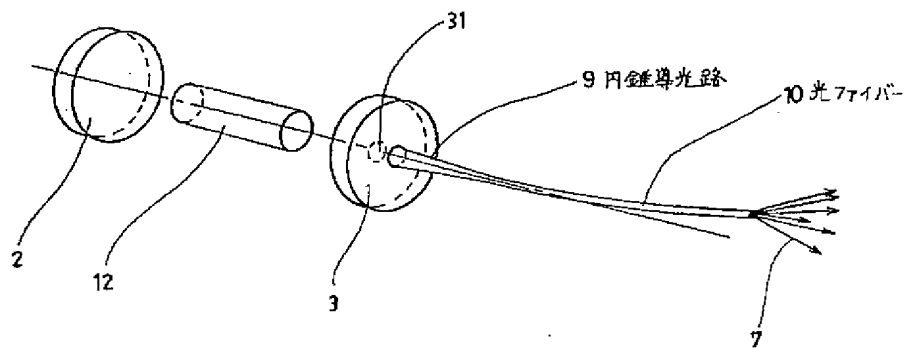
【図10】



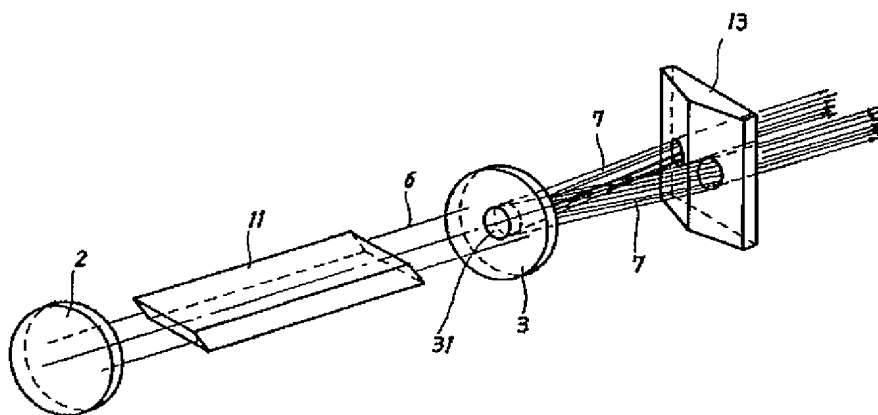
【図9】



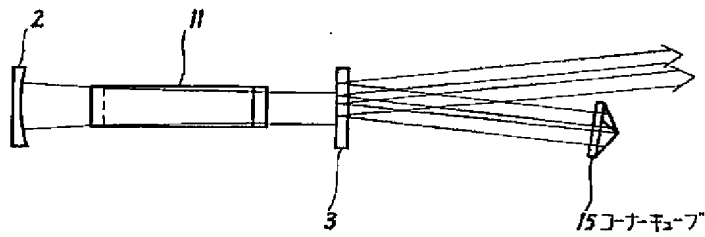
【図11】



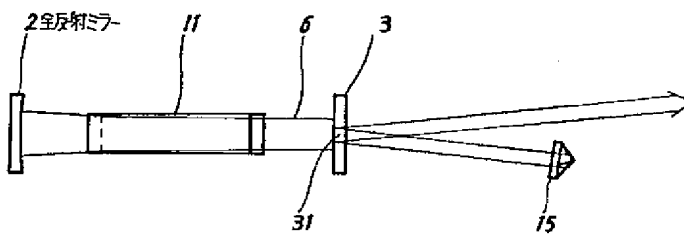
【図12】



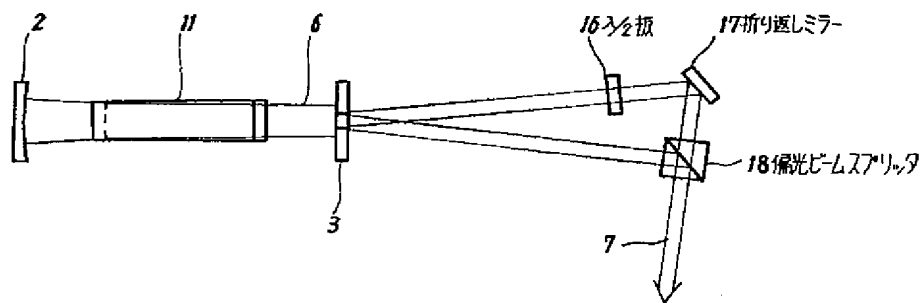
【図14】



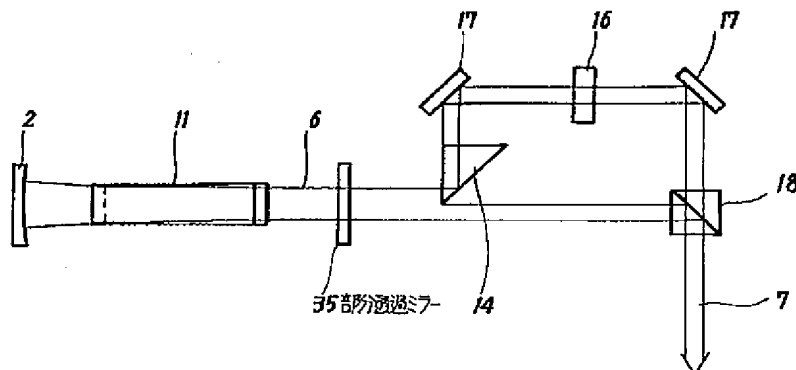
【図15】



【図16】

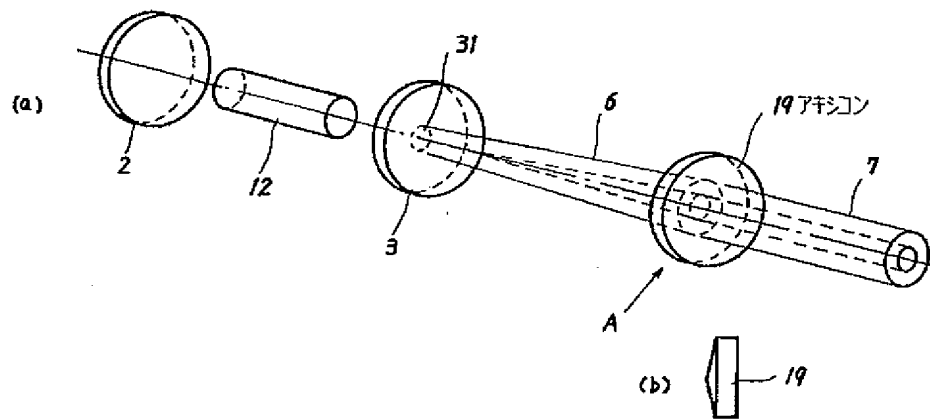


【図17】

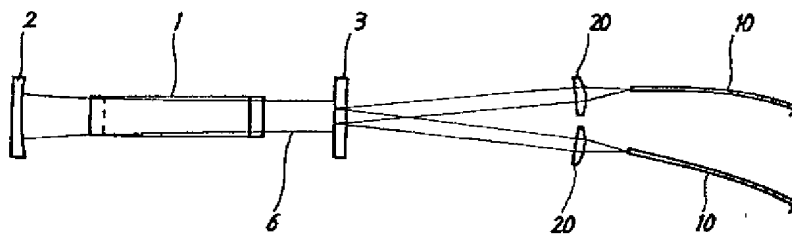




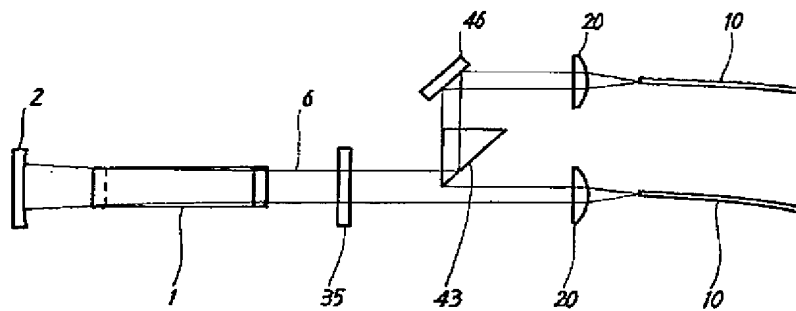
【図18】



【図19】



【図20】



【図21】

